Refraktions-Seismik im Nordteil der Ostalpen zwischen Salzach und Inn, 1970-1974; Messungen und deren Interpretation

Manfred Will

1975

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551910_0080

Refraktions-Seismik im Nordteil der Ostalpen zwischen Salzach und Inn, 1970-1974; Messungen und deren Interpretation

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
des Fachbereichs Geowissenschaften
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Manfred Will

Mai 1975

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

1. Berichterstatter: Prof. Dr. G. Angenheister

2. Berichterstatter: Prof. Dr. O. Förtsch

Tag der mündlichen Prüfung: 7. Juli 1975

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	Einleitung	3
2.	Lage der Profile	7
3.	Spreng- und Meßtechnik	11
4.	Bearbeitung des Materials	14
5.	Auswertung	23
	5.1. Das Verfahren der Modellrechnung	23
	5.2. Gang der Auswertung	32
6.	Auswerte-Ergebnisse	37
	6.1. Geschwindigkeits-Tiefen-Funktionen	37
	6.2. Legende zur Darstellung der Modelle	4o
	6.3. Die Profile Gartenau-S, St. Johann i.P. - N	43
	6.4. Die Profile Gartenau-W, Antoniberg-E, Marquartstein-S	47
	6.5. Das Profil Lofer-N	51
	6.6. Die Profile Marquartstein-N, Rohrdorf-E	53
	6.7. Die Profile Rohrdorf-S, Kiefersfelden-N	56
	6.8. Die Profile Golling-W, Eschenlohe-E	63
7.	Bemerkungen zur Anwendung der Modellrechnung	72
8.	Zusammenfassung	81
	Literaturverzeichnis	84
	Danksagung	89
	Lebenslauf	9o
	Anhang	91

Inhaltsverzeichnis des Anhanges

		Seite
I.	Angaben zu Schüssen, Angaben zu Spuren	91
II.	PROMOS - Programm für Modellrechnungen der Seismik	118
II.1.	Eingabeanleitung	118
II.2.	Beispiel	123
II.3.	Programm-Text	132

1. EINLEITUNG

"Unter den Strukturformen, welche die äußere Rinde unseres Planeten zusammensetzen, nehmen die jungen Kettengebirge, die in der letzten großen alpinen Gebirgsbildung entstanden sind, eine ganz besonders hervorragende Stellung ein. ... Ihre Ursprünglichkeit ... lassen dieselben ganz besonders geeignet erscheinen, ... den Bau der Gebirge und den Bewegungsmechanismus derselben zu erforschen." Im Sinne dieser Worte, mit denen Boden (193o) sein "Geologisches Wanderbuch für die Bayerischen Alpen" einleitet, wird das Alpengebiet seit langem mit allen geowissenschaftlichen Methoden intensiv untersucht. Als Beispiele neuerer geophysikalischer Messungen seien hier genannt: für die Methode der Magnetotellurik Beblo (1974), Kemmerle (1973); für gravimetrische Untersuchungen Makris (1971), Partsch (1971); Messungen des Wärmeflusses (Haenel 1973) und Messungen des Erdmagnetfeldes (Angenheister 1974, Bleil 1974).

Die jüngsten Ergebnisse refraktions-seismischer Messungen wurden bei Angenheister et al. (1972) in Form zweier quer zum Streichen der Alpen gerichteter Profilschnitte zusammenfassend dargestellt. Die Abb. 1 zeigt hiervon das Profil über die Ostalpen. Darin sind die Ergebnisse von 4 refraktionsseismisch vermessenen Profilen, welche das dargestellte Profil im Norden und Süden kreuzen, in Form von Linien gleicher Geschwindigkeit seismischer Longitudinal-Wellen unterhalb des geologischen Schnittes eingezeichnet. Die Autoren betonen, daß wegen des weitmaschigen Profilnetzes und der fehlenden Gegenschüsse die gezeigten Ergebnisse noch Unsicherheiten aufweisen und fordern: "Further measurements are needed to confirm, or more likely to refuse our results" (Angenheister et al. 1972). Die hier vorgelegte Arbeit berichtet über den Versuch, mit refraktions-seismischen Messungen im Nordteil der Ostalpen und mit erweiterten Auswerte-Verfahren einen Schritt in die so aufgezeigte Richtung zu tun.

Die Messungen wurden im Rahmen des internationalen Gemeinschaftsprogrammes "Geodynamik des mediterranen Raumes" durchgeführt. Für die somit angesprochene Geodynamik der Alpen ist die Frage einer möglichen Unterlagerung der Kalkalpen durch Molasse, Helvetikum und Flysch von besonderer Bedeutung. Zwar ist die Existenz einer solchen Unterlagerung bis mindestens 8 km S vom Kalkalpen-Nordrand an der Bohrung Urmannsau, ca. 15o km E Salzburgs, nachgewiesen (Kröll und Wesseley 1967), jedoch gab es darüber im hier zur Diskussion stehenden Gebiet bisher keine gesicherten Kenntnisse, was z.B. auch durch das Fragezeichen an der betreffenden Stelle des Profilschnittes der Abbildung 1 verdeutlicht wird.

Die Auswertung der refraktions-seismischen Messungen, insbesondere im Hinblick auf die angedeutete Problemstellung, wird durch folgende Umstände erschwert:

Die Kalkalpen weisen sehr hohe Geschwindigkeit seismischer Longitudinal-Wellen auf. Im Falle ebener Schichtung könnten deshalb - den Gesetzen der Strahlengeometrie entsprechend - neben Einsätzen der im Kalkalpin gelaufenen seismischen Wellen erst in größerer Entfernung vom Schußpunkt Einsätze von in der Unterkruste gelaufenen Wellen mit entsprechender zeitlicher Verzögerung registriert werden. Bei geeigneter Anlage der Messungen lassen sich dennoch Informationen über das Material unter den Kalkalpen gewinnen. Dabei muß aber die Vorstellung ebener Schichtung aufgegeben werden. Daß diese Vorstellung den Verhältnissen im Meßgebiet nicht

Abb.1. Zusammenstellung geophysikalischer und geologischer Daten auf einem Profil über die Ostalpen. Punktierte Kurve (ΔF): Differenz zwischen Totalintensität des Erdmagnetfeldes und internationalem Referenzfeld. Durchgezogene Kurve (Δg): Bougouer-Schwere. Unterhalb des geologischen Schnittes Linien gleicher Geschwindigkeit seismischer Longitudinal-Wellen. - (Entnommen Angenheister et al. 1972)

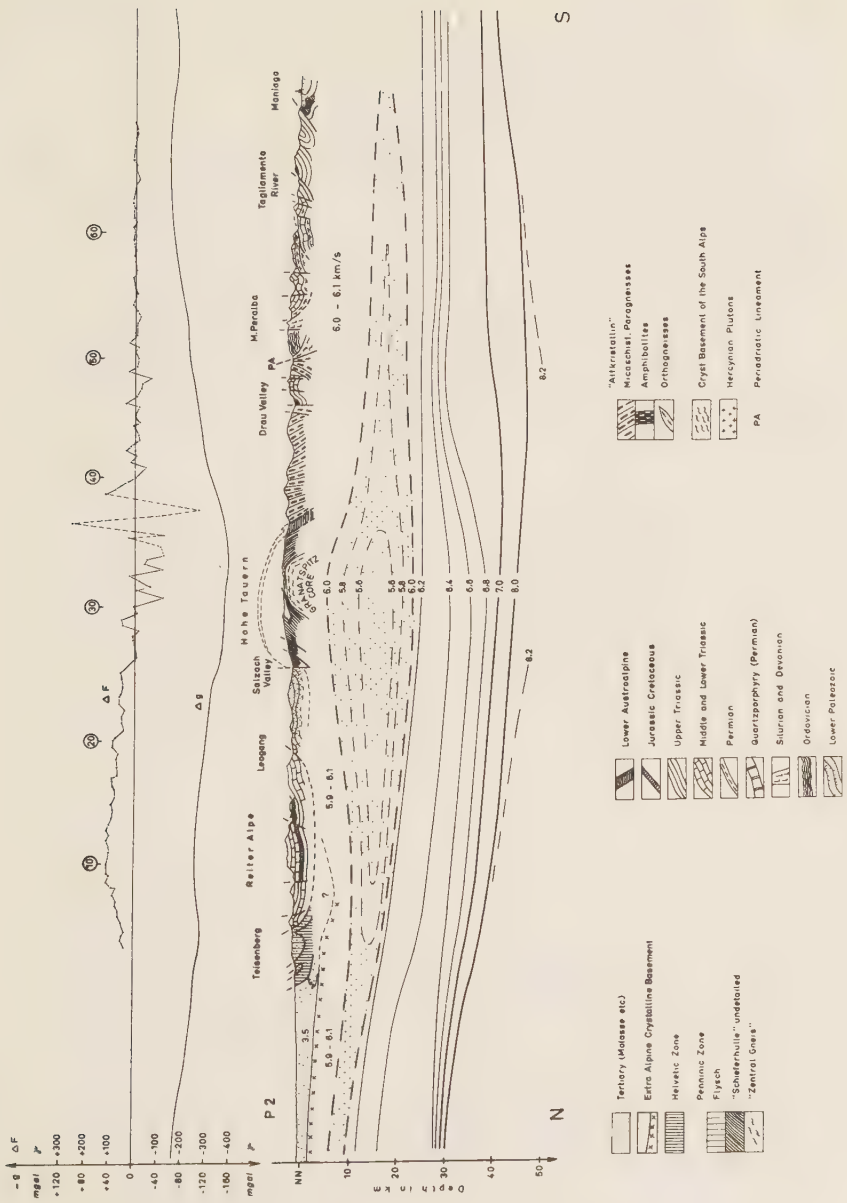


Abb.1. Bildunterschrift Seite 4. (Schnitt nicht überhöht)

gerecht wird, sondern daß mit starken lateralen Variationen der Geschwindigkeit seismischer Wellen zu rechnen ist, zeigte sich auf allen vermessenen Profilen, insbesondere dort, wo verschiedene geologische Einheiten durchquert werden.

Um solche vertikalen und horizontalen Variationen der Geschwindigkeit seismischer Wellen für eine befriedigende Auswertung berücksichtigen zu können, bzw. um eine Auswertung an manchen Stellen überhaupt erst zu ermöglichen, wurde ein Rechenprogramm entwickelt, mit dem für vorgegebene Modelle mit zweidimensionaler Geschwindigkeits-Verteilung die Laufwege seismischer Wellenstrahlen im Untergrund und die zugehörigen Laufzeiten berechnet werden können. Durch Variation der Modelle kann dann dasjenige gefunden werden, bei dem errechnete und gemessene Laufzeitkurve am besten übereinstimmen.

In dieser Arbeit soll zunächst über die umfangreichen Messungen berichtet und das Meßmaterial in Form von Seismogramm-Montagen vorgestellt werden. Sodann soll das Rechenverfahren für die Berechnung von Laufwegen und -zeiten seismischer Wellenstrahlen in zweidimensional inhomogenen Medien geschildert werden. Schließlich werden die Ergebnisse einer Anwendung dieses Verfahrens auf die gezeigten Messungen dargestellt.

2. LAGE DER PROFILE

Für die hier beschriebenen Messungen wurden Steinbruchsprengungen als Quelle seismischer Energie genutzt (s. auch Kap. 3). In der Tabelle 1 sind die 11 refraktions-seismisch vermessenen Profile aufgeführt. Ihre geographische Lage zeigt die Abbildung 2.

Tabelle 1. Refraktions-seismisch vermessene Profile.
Die Profile werden nach einem Ort in der Nähe des jeweiligen Steinbruches und der ungefähren geographischen Richtung vom Schußpunkt zu den Meßpunkten bezeichnet.

Nr. des Steinbruches in Abb. 2	Profil-Bezeichnung	Profil-Nr.
1	Gartenau-W	I
1	Gartenau-S	II
2	Golling-W	III
3	St. Johann i.P. - N	IV
4	Antoniberg-E	V
5	Lofer-N	VI
6	Marquartstein-S	VII
6	Marquartstein-N	VIII
7	Rohrdorf-S	IX
7	Rohrdorf-E	X
8	Kiefersfelden-N	XI

Die Profile I und V, II und IV, IX und XI stellen auf ihren jeweils gemeinsamen Meßstrecken Gegenschußprofile dar. Ebenso ist das Profil III (Golling-W) Gegenschuß zu einem Teil eines Profiles vom Steinbruch Eschenloe nach Osten, das im Rahmen eines anderen Programmes vermessen wurde.

Die Abbildung 3 zeigt in gleichem Maßstab und Kartenausschnitt wie in der Abbildung 2 eine vereinfachte, schematische Darstellung der Geologie des Meßgebietes mit den einzelnen Meß-

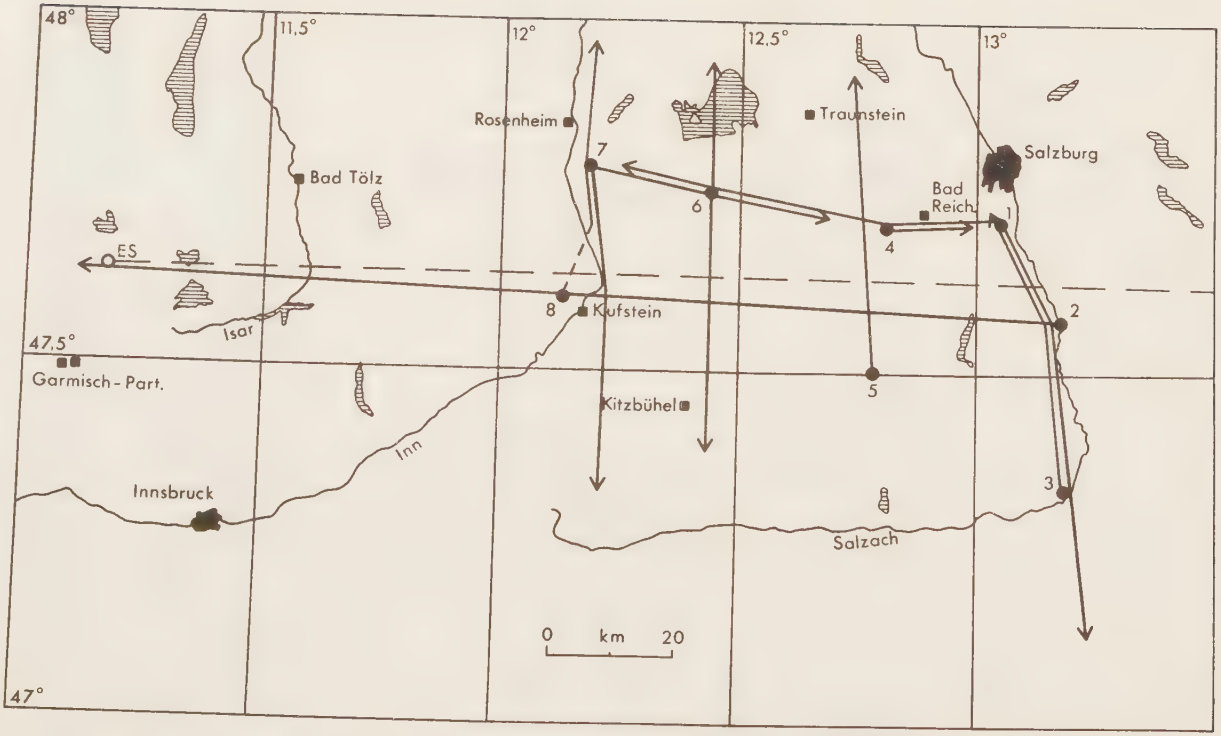


Abb.2. Lage der refraktions-seismisch vermessenen Profile. Pfeilspitzen = entferntester Meßpunkt eines Profils. Steinbrüche: 1 Gartenau, 2 Golling, 3 St. Johann i.P., 4 Antoniberg, 5 Lofer, 6 Marquartstein, 7 Rohrdorf, 8 Kiefersfelden. Gestr.: Profil Eschenlohe-E.

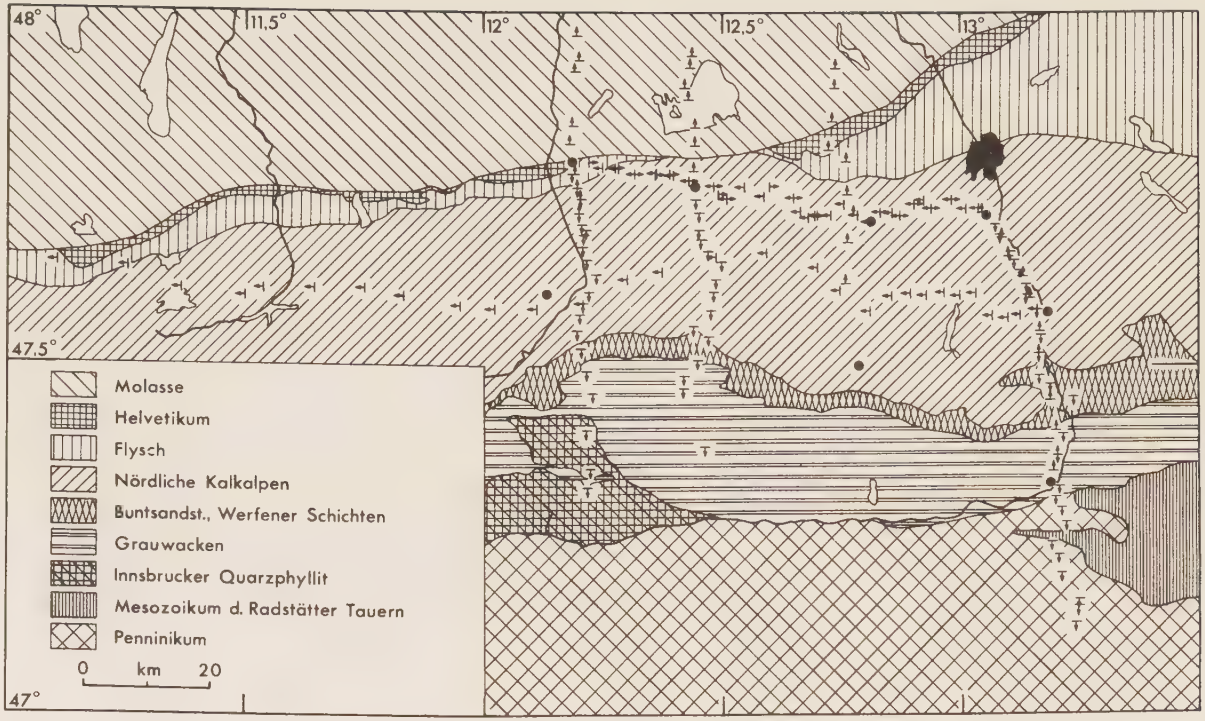


Abb.3. Vereinfachter, schematischer Plan der Geologie des Meßgebietes mit einzelnen Meßpunkten. Die Pfeile an den Meßpunkten zeigen in Profilrichtung, also vom Sprengpunkt fort. Runde Punkte = Sprengpunkte (s. Abb. 2).

punkten. Hauptgrundlage für diese Karte bildete die Geologische Karte von Bayern 1:5oo ooo (Bayer. Geol. Landesamt 1964) mit den Erläuterungen zur Geologie der Alpen (Schmidt-Thomé in Bayer. Geol. Landesamt 1964), ergänzt im Süden durch die "Geologische Karte der Republik Österreich und der Nachbargebiete" 1:5oo ooo (Vetters 1933). Weitere Einzelheiten, insbesondere auch für die Auswertung (s. Kap. 6), wurden folgenden Karten entnommen:

Geologische Karte von Bayern 1:1oo ooo, Blatt Nr. 663 Murnau (Schmidt-Thomé 1965), Blatt 664 Tegernsee (Schmidt-Thomé 1953), Blatt 665 Schliersee (Ganss 1953).

Geologische Karte von Bayern 1:25 ooo, Blatt Nr. 824o Marquartstein (Ganss 1966/1967), Blatt Nr. 8241 Ruhpolding (Doben 197o), Blatt Nr. 8242 Inzell (Doben und Freimoser 1973).

Weiterhin wurde eine "Geologisch-Tektonische Übersichtskarte der Alpenrandzone und der Nördlichen Kalkalpen zwischen Inn- und Alm-Tal", 1:3oo ooo, verwendet (Beilage 1 bei Freimoser 1972).

Es sei hier auf die in der Abbildung 2 erkennbare dichte Vermessung der Profile aufmerksam gemacht. Trotz oft schwieriger Stationsverhältnisse (unzugängliches Gelände bzw. große Verkehrs- oder sonstige Unruhe) konnte - häufig durch mehrmalige Messungen am gleichen Ort - für die Profile I bis X mit maximal 65 km Länge auf den wichtigsten Abschnitten ein Stationsabstand von ca. 2 km eingehalten werden. Nur bei dem ca. 16o km langen Profil XI (Golling-W) ist der Stationsabstand, besonders für größere Schußpunktentfernungen, größer.

Insgesamt wurden von 246 Registrierungen (davon 35 Abriß-Stationen) 17o Seismogramme von 35 Schüssen für die Seismogramm-Montagen (s.Kap. 4) verwendet.

3. SPRENG- UND MESSTECHNIK

In allen 8 Steinbrüchen, von denen aus die Profile vermessen wurden, werden Großbohrloch-Sprengungen abgetan. Nur bei 2 der registrierten Schüsse erfolgte die Zündung der gesamten Ladung momentan (jeweils Schuß A der Profile Lofer-N und St. Johann i. P. - N). Bei allen übrigen Schüssen wurde die Technik der verzögerten Sprengung angewandt. Dabei wird im Normalfall die Gesamtladung auf 19 Zündstufen verteilt (ca. 1oo kg Sprengstoff pro Zündstufe). Die einzelnen Stufen werden nacheinander mit 2o msec Verzögerung gezündet.

Detaillierte Angaben zu den einzelnen Sprengungen (Gesamtladung, Maximale Ladung pro Zündstufe, Zahl der Zündstufen etc.) sind im Anhang - geordnet nach Profilen - aufgeführt.

Wegen des in dieser Sprengtechnik begründeten geringen seismischen Wirkungsgrades konnte nur auf dem Profil Golling-W bis in größere Entfernungen (>7o km) erfolgreich registriert werden; bei den Schüssen für dieses Profil waren die Ladungen pro Zündstufe und auch die Gesamtladungen erheblich größer als bei den Schüssen für die übrigen Profile. Registrierungen auf diesen anderen Profilen im Bereich der zu erwartenden kritischen Entfernung (ca. 8o - 1oo km) erbrachten keine verwendbaren Seismogramme, obwohl in diesem Entfernungsbereich mit den größten relativen Amplituden auf dem P_MP-Laufzeitast zu rechnen ist. (Mit P_MP wird üblicherweise der von Wellenstrahlen mit Scheiteln im Bereich der Übergangszone Kruste-Mantel erzeugte Laufzeitast bezeichnet).

Ein weiterer für die refraktions-seismischen Messungen nachteiliger Effekt ist die Länge des bei den verzögerten Sprengungen erzeugten Signals. Bei 19 Zündstufen und 2o msec Verzögerung beträgt die Signallänge mindestens o.36 sec. Spätere Einsätze, die innerhalb dieses Zeitintervalls auf frühere folgen, können somit nur schwer unterschieden werden.

Die Registrierungen wurden mit maximal 12 "MARS 66"-Apparaturen (Magnetband-Apparaturen für Refraktions-Seismik) des Instituts für Angewandte Geophysik der Universität München durchgeführt. (Bei einer Messung auf dem Profil Golling-W konnten auch 6 MARS 66-Apparaturen des Instituts für Geophysik der Universität Berlin eingesetzt werden). Eine genaue Beschreibung der MARS 66-Apparatur gibt Berckhemer (197o). Hier seien nur die wichtigsten technischen Daten aufgeführt:

Eine Apparatur besteht aus 3 Seismometern, einer Verstärker-Modulator-Einheit und einem Magnetbandgerät. Die elektrodynamischen Seismometer (Typ FS 6o nach Berckhemer, Eigenfrequenz 2 Hz) erzeugen Spannungen proportional der Geschwindigkeit der Bodenbewegung. Diese Spannungen werden in der Verstärker-Modulator-Einheit (Firma Lennartz) verstärkt und gemeinsam mit dem Signal eines Radio-Zeitzeichens (meist wurde der Sender Neuchâtel, Bonanomi empfangen; Empfänger-Typ HBG) und einer Pilot-Frequenz nach dem Frequenz-Multiplex-Modulations-Verfahren gemischt und dann analog auf Magnetband (Uher Report 4ooo L) aufgezeichnet.

Für die Abriß-Registrierung zur Ermittlung der genauen Schußzeit wurde eine gleichartige Apparatur verwendet. Nur am schußnächsten Meßpunkt wurde jeweils ein mechanisch weniger empfindliches Geophon der Firma Hall Sears benutzt.

Die 3 Geophone einer Station wurden meistens in Profilrichtung mit einem Abstand von 1oo - 4oo m untereinander aufgebaut. Es wurde jeweils die vertikale Komponente der Bodenbewegung registriert. Nur in Einzelfällen, wo eine solche Auslage nicht möglich war, wurde mit einem Geophon in geringerem Abstand eine horizontale Komponente der Bodenbewegung registriert.

Da es in den wenigsten Fällen möglich war, frühzeitig eine genaue Schußzeit mit den Steinbruch-Betrieben zu vereinbaren, wurden meistens mehrere Ersatzzeiten bzw. mehrere Zeit-

fenster für eine Registrierung festgesetzt. - Die ungefähren Sprengtermine waren oft erst wenige Tage im Voraus bekannt, so daß die Messungen häufig sehr kurzfristig organisiert werden mußten. Setzt man zudem die technischen Schwierigkeiten an den Meß-Stationen, z.B. wegen schwieriger Gelände-Verhältnisse in den z.T. engen Alpen-Tälern oder auch wegen ungünstiger Witterung in Rechnung, so wird ersichtlich, daß diese umfangreichen Messungen nur mit einsatzbereiten und erfahrenen Registrierern durchführbar waren.

An den Messungen nahmen fast alle Angehörigen des Instituts für Angewandte Geophysik der Universität München teil. (Bei der Messung auf dem Profil Golling-W, Schuß A, waren auch Angehörige des Instituts für Geophysik der Universität Berlin beteiligt). - Die Registrierer sind in den "Listen der Spuren" für die einzelnen Meßpunkte aller Profile aufgeführt.

4. BEARBEITUNG DES MATERIALS

Zur Erstellung der Seismogramm-Montagen, die die Grundlage für die Auswertung refraktions-seismischer Messungen bilden, wurde folgendermaßen vorgegangen:

Die Registrierungen wurden mittels eines Magnetbandgerätes (Uher Report 4ooo L) über einen Demodulator (Firma Lennartz) abgespielt. Dieser zerlegt das Signalgemisch in die einzelnen Kanäle und erzeugt Spannungen, die den aufgenommenen Spannungen proportional sind. Mit einem nachgeschalteten Analog-Bandpaß-Filter mit variablem Durchlaßbereich (Grubbe 1969) können gestörte seismische Spuren gefiltert werden. Mit einem Vierkanal-Schreiber (Philips Oszilloscript)wurden dann die drei seismischen Spuren und das Zeitzeichen auf Papier gezeichnet.

In die Seismogramm-Montagen wurde die jeweils beste Spur einer Station eingezeichnet. An manchen Stationen wurden auch horizontale Komponenten der Bodenbewegung registriert. In den Montagen sind jedoch nur Seismogramme der vertikalen Bodenbewegung enthalten. Die Montagen sind in reduziertem Zeitmaßstab gezeichnet (Reduktionsgeschwindigkeit v_r = 6 km/sec);d.h. daß bei jeder Spur zur Abrißzeit die Zeit Δ/v_r (Δ = Entfernung) addiert und diese Summe als Nullpunkt angenommen wird. Damit liegen auch in größeren Entfernungen die Einsätze näher an der (reduzierten) Nullzeit; außerdem sind relative Verfrühungen und Verspätungen in den Laufzeitkurven so besser erkennbar.

Die Seismogramm-Montagen sind in den Abbildungen 4 - 1o wiedergegeben. Alle Profile außer Golling-W sind im gleichen Maßstab dargestellt. Die Buchstaben über der Entfernungsachse bezeichnen den Schuß, bei dem die jeweilige Spur aufgenommen wurde. Für alle in den Montagen enthaltenen Spuren sind im Anhang detaillierte Angaben wie Verstärkung bei der Aufnahme,

Empfindlichkeit des Schreibers bei der Abspielung, Filterung etc. aufgeführt. Unter den Montagen ist jeweils die Topographie der Oberfläche (Höhe der einzelnen Meßpunkte ü. NN) in nicht überhöhter Form dargestellt. Bei diesem Höhenmaßstab und der Annahme einer Geschwindigkeit der Longitudinalwelle nahe der Oberfläche von etwa 4 km/sec entspricht die Strecke der Höhendifferenz zweier Spuren in erster Näherung der Zeit, um die man bei einer Höhenkorrektur eine Spur gegenüber der anderen verschieben müßte.

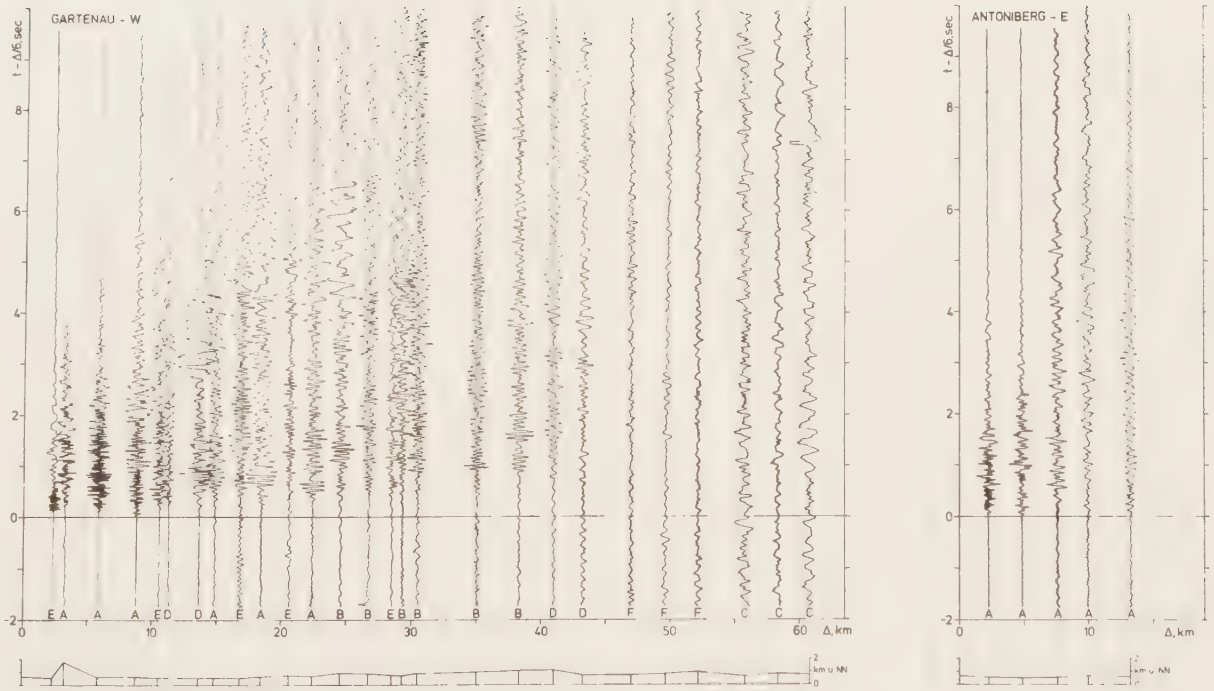


Abb.4. Seismogramm-Montagen der Profile Gartenau-W und Antoniberg-E

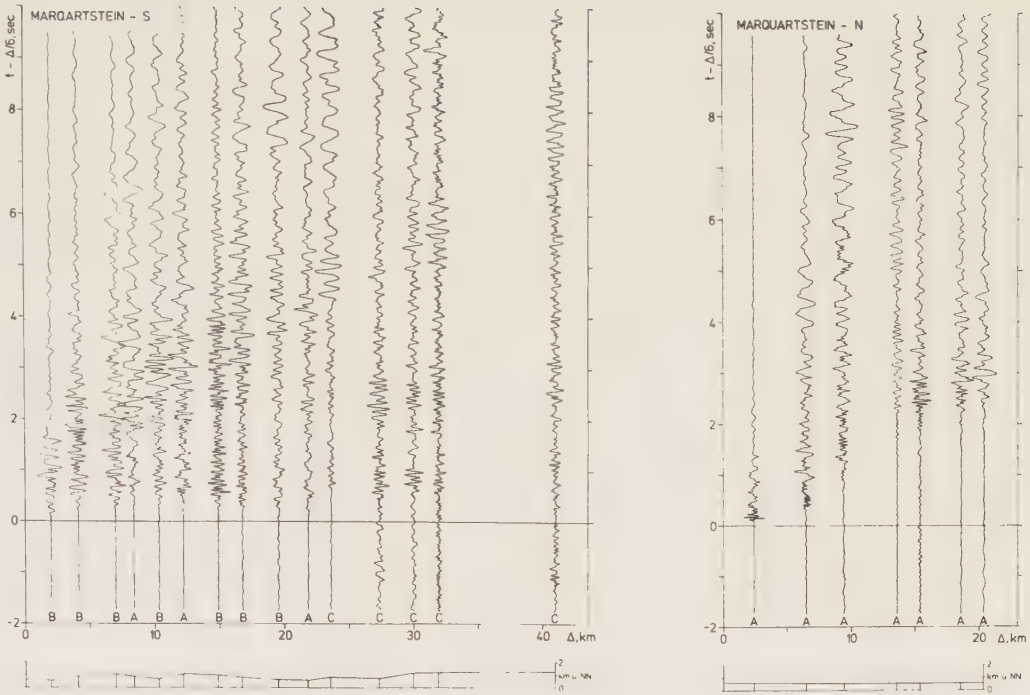


Abb.5. Seismogramm-Montagen der Profile Marquartstein-S und Marquartstein-N

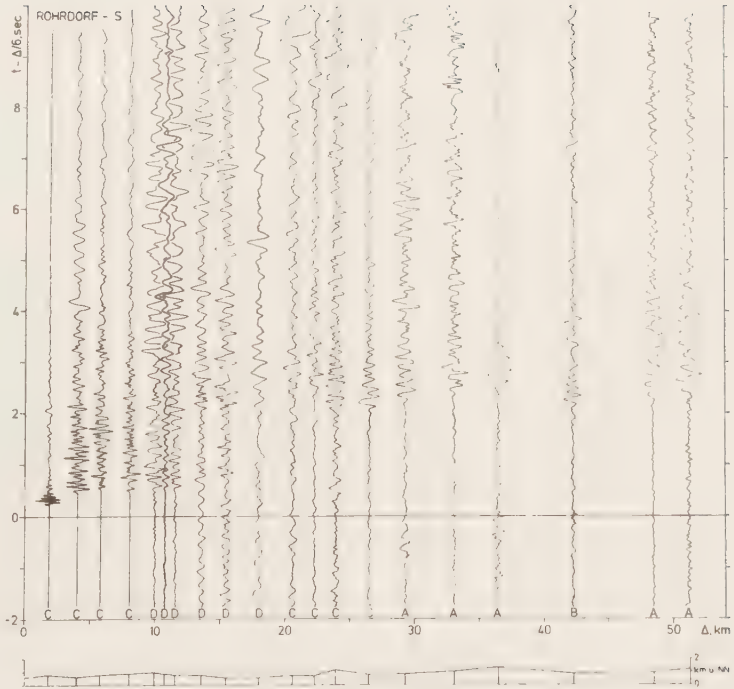


Abb.6. Seismogramm-Montage des Profils Rohrdorf-S

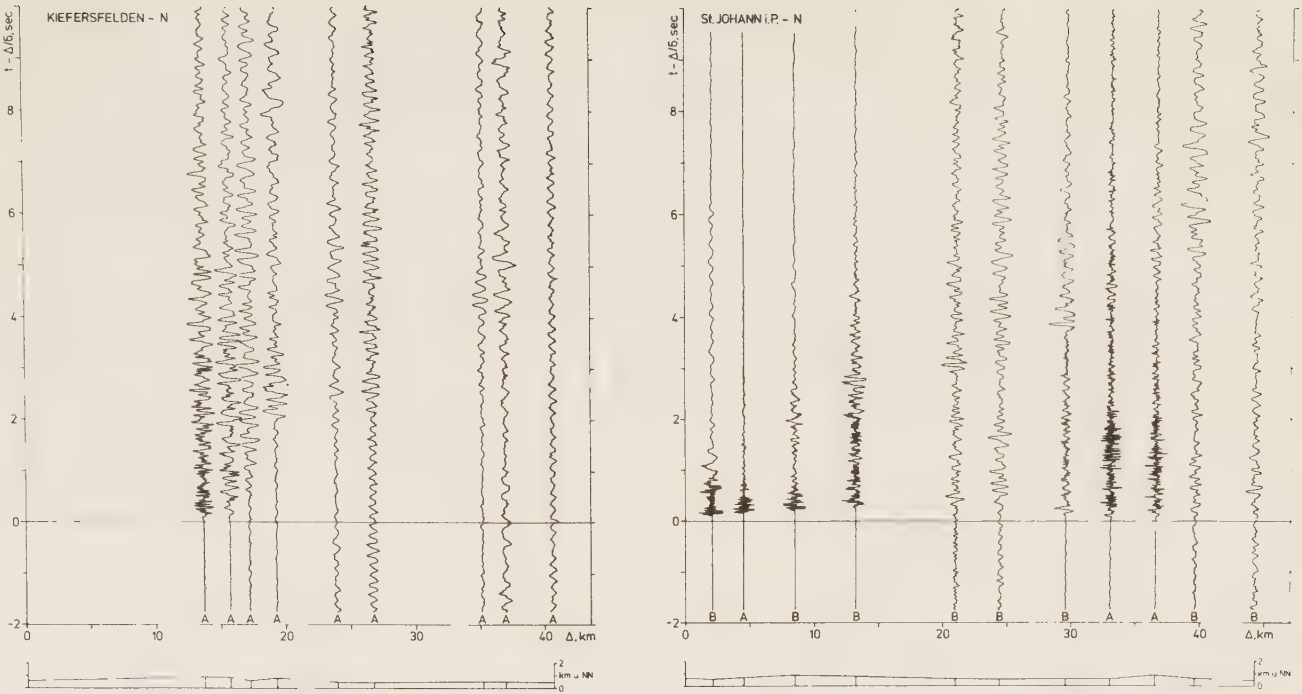


Abb.7. Seismogramm-Montagen der Profile Kiefersfelden-N und St. Johann i.P. - N

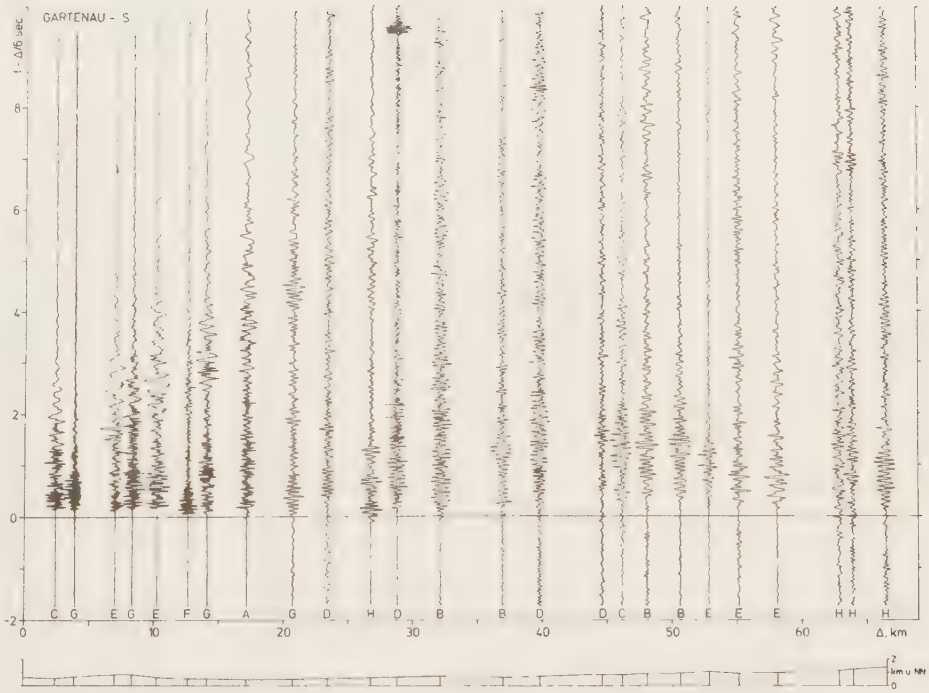


Abb.8. Seismogramm-Montage des Profils Gartenau-S

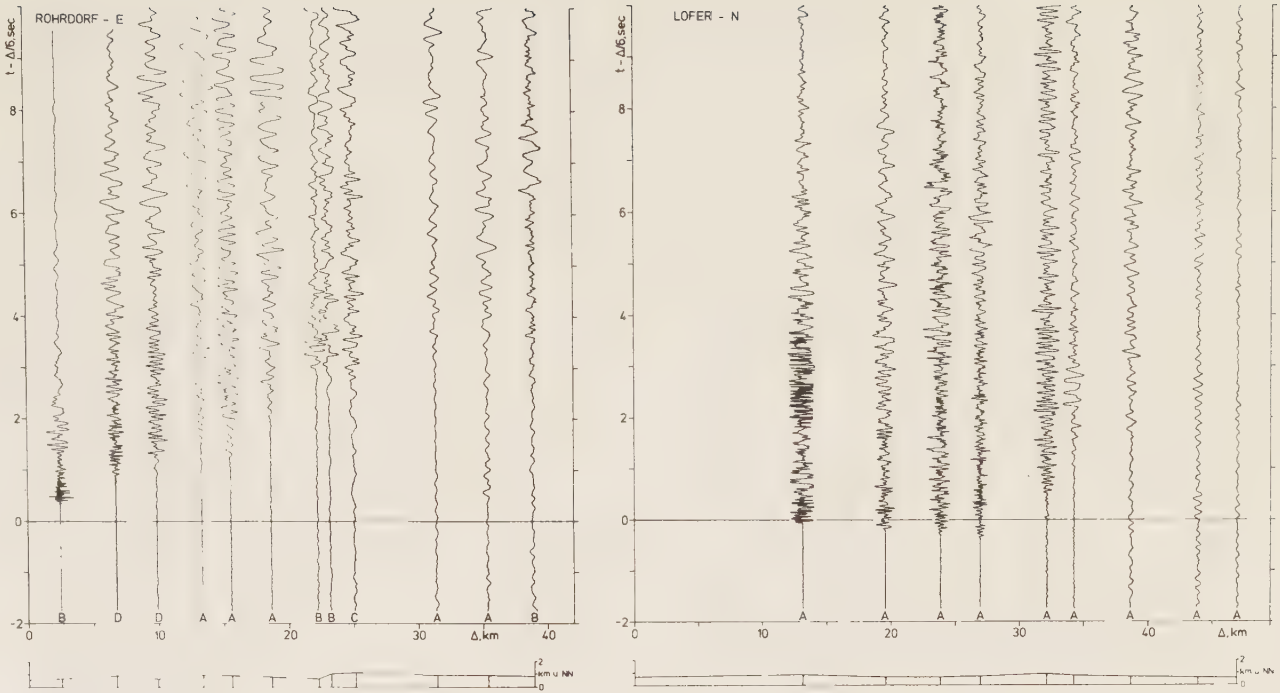


Abb.9. Seismogramm-Montagen der Profile Rohrdorf-E und Lofer-N

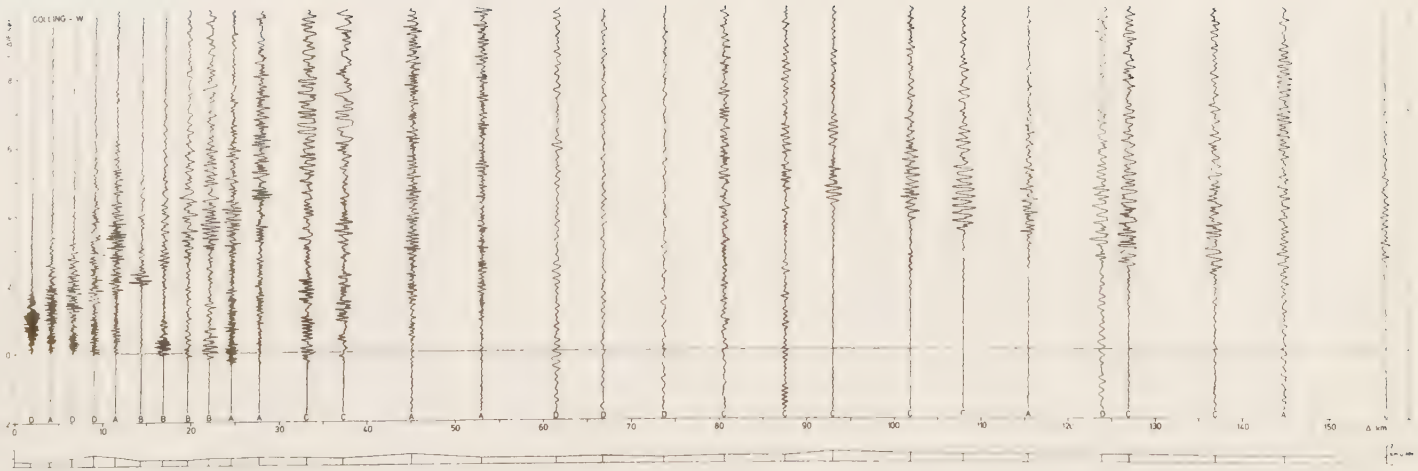


Abb.10. Seismogramm-Montage des Profils Golling-W

5. AUSWERTUNG

Wie bereits in der Einleitung erläutert, wurde für die Auswertung ein Rechenprogramm entwickelt, mit dem für vorgegebene Modelle mit zweidimensionaler Geschwindigkeits-Verteilung die Laufwege seismischer Signale, also die Strahlwege im Untergrund und die zugehörigen Laufzeiten der Signale berechnet werden können. Ein solches Verfahren macht natürlich die bisher bekannten keineswegs überflüssig. Wegen der großen Zahl der Modellparameter ist es im Gegenteil nötig, Profile bzw. Teile von Profilen soweit möglich mit Inversions-Verfahren auszuwerten, um so eine möglichst gute erste Nährung für die Strukturen im Untergrund zu erhalten. Die hierfür verwendeten Verfahren (s. Kap. 5.2) sind jedoch hinlänglich bekannt, so daß in dieser Arbeit auf eine erneute Beschreibung verzichtet werden kann.

Im folgenden Kapitel 5.1 soll das Verfahren der Modellrechnung in seiner Funktion erläutert werden. Das Rechenprogramm selbst findet sich im Wortlaut im Anhang (Programmiersprache ALGOL), ebenso ausführliche Erläuterungen zur Eingabe mit einem Beispiel für Ein- und Ausgabe. Im Kapitel 5.2 ist dann das praktische Vorgehen bei der Auswertung der hier behandelten Profile dargestellt.

5.1 Das Verfahren der Modellrechnung

Die Modelle des Untergrundes sind aus Schichten mit entweder konstanter Geschwindigkeit oder mit konstantem, beliebig gerichteten Gradienten der Geschwindigkeit aufgebaut. Die Schichtgrenzen sind beliebig geformte Polygonzüge (eindeutige Funktionen der horizontalen Entfernung x). Auch Auskeilen von Schichten und linsenförmige Strukturen sind möglich. So können zweidimensionale Modelle mit beliebiger diskontinuierlicher Geschwindigkeitsverteilung auf anschauliche Weise darge-

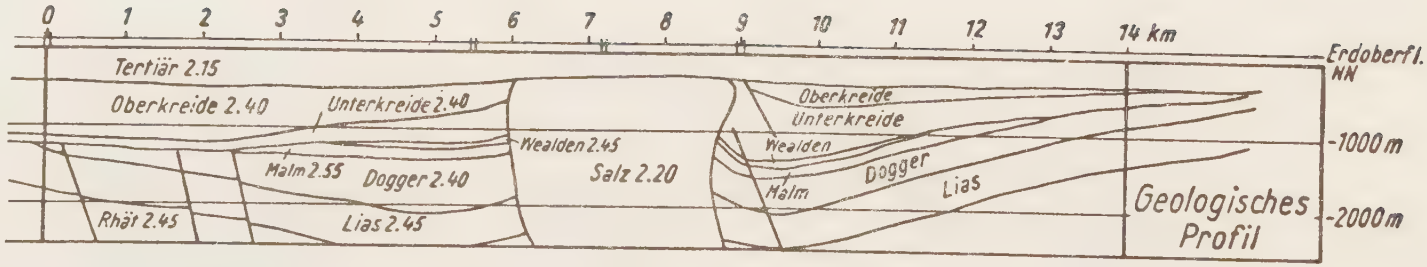


Abb.11. Geologisches Profil über einen Salzstock in Norddeutschland. Zahlen = Dichte in g/cm^3. (Entnommen Reich 1960 a).

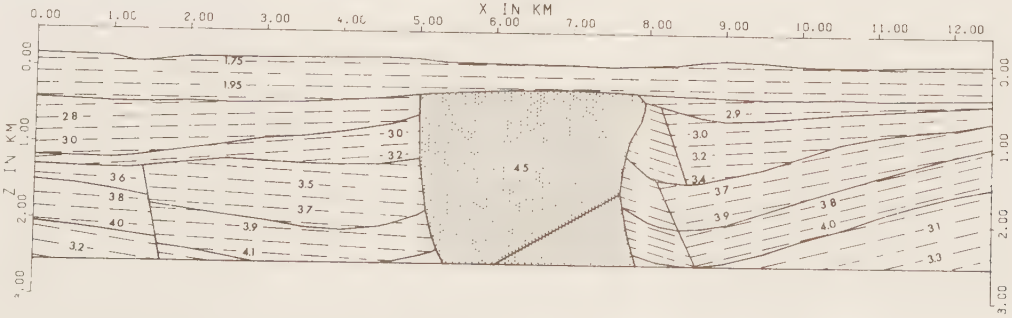


Abb.12. Modell mit zweidimensionaler Geschwindigkeits-Verteilung. Schichtgrenzen entsprechend dem Profil in Abb.11, Ausschnitt 1 - 13.5 km (z.T. vereinfacht). Punktiert = Salz. Zahlen = Geschwindigkeit in km/sec.

stellt werden. Der Schußpunkt kann an jeder beliebigen Stelle des Modells liegen. Für vorgegebene Abstrahlwinkel werden dann Laufwege und -zeiten der Signale errechnet.

Als Beispiel für die Möglichkeiten der Modelldarstellung ist in den Abbildungen 11 und 12 ein Schnitt mit einem Salzstock wiedergegeben. Die Abbildung 11 zeigt ein Profil, wie es aus gravimetrischen und reflexionsseismischen Messungen und aus Bohrungen abgeleitet wurde (Reich 196oa). Die Abbildung 12 zeigt die Übertragung eines Ausschnittes zwischen 1 und 13.5 km dieses Profils in ein Modell mit zweidimensionaler Geschwindigkeitsverteilung. Die Schichtgrenzen wurden dabei z.T. etwas vereinfacht und kleinere Gesteins-Einheiten zu einer Schicht zusammengefaßt. Die Werte für Geschwindigkeiten und Gradienten (der Longitudinal-Welle) wurden Arbeiten von Bortfeld (1971), Clasen (1958), Krey und Nodop (197o), Reich (196oa) und Zur Mühlen und Tuchel (1953) entnommen.

Es sei betont, daß dieses Modell in keinem direkten Zusammenhang zu den geologischen Verhältnissen im hier behandelten Gebiet der Alpen steht. Es wird aber als Beispiel verwendet, weil es besonders gut geeignet scheint, das Verfahren der Modellrechnung zu demonstrieren.

Für die Oberfläche des Modells wurde eine in der Abbildung 11 nicht dargestellte Topographie angenommen, um zu zeigen, daß bei der Modellrechnung auch topographische Effekte automatisch mit berechnet werden. Bei der Auswertung tatsächlich vermessener Profile sollte als Topographie der Oberfläche ein Polygon aus den x_i, z_i der Meßpunkte vorgegeben werden (x_i = Entfernung, z_i = Höhe des i-ten Meßpunktes). Endet dann ein Strahl an der Erdoberfläche zwischen zwei Meßpunkten A und B, so liegt die Laufzeit des Signals auf der geraden Verbindung der Laufzeiten zweier Signale, die gerade in den Punkten A und B die Erdoberfläche erreichen. Dies ermöglicht einen exakten Vergleich zwischen gemessener und berechneter Laufzeitkurve, auch wenn die errechneten Strahlen nicht genau an

den Meßpunkten enden.

für die Schichtgrenzen werden die z-Koordinaten bezüglich eines gemeinsamen x-Rasters (mit wahlweise variablem oder konstantem Abstand der x_i) vorgegeben. Dadurch sind weniger Daten nötig, als wenn für jeden Punkt die x- und z-Koordinate vorzugeben wäre. Ist eine Schichtgrenze über mehrere x_i des Rasters hinweg gerade, so wird zwischen den z-Koordinaten der beiden Eckpunkte eine Marke und die Zahl der x_i, für die die Grenze gerade ist, eingegeben; die Zwischenwerte werden mit dem Programm errechnet. Auch für das Auskeilen einer Schicht wird eine Marke eingegeben und anschließend die Zahl der x_i, für die die Schicht nicht existiert. Die Verwendung dieser Marken bewirkt ebenfalls eine Verminderung der Zahl der einzugebenden Daten.

Im Falle konstanter Geschwindigkeit wird nur ihr Wert vorgegeben. Bei konstantem Gradienten werden 2 Punkte einer "v_o-Geraden", die Geschwindigkeit v_o auf dieser Geraden und der Gradient der Geschwindigkeit eingegeben. Die Richtung des Gradienten ist dann gleich der Senkrechten auf der v_o-Geraden. Die Geschwindigkeit nimmt in Richtung zunehmender Tiefe zu oder ab, je nachdem, ob der Gradient positiv oder negativ eingegeben wurde.

Im Modell der Abbildung 12 wurde für alle Schichten außerhalb des Salzstockes jeweils konstanter Gradient der Geschwindigkeit mit Zunahme der Geschwindigkeit in Richtung zunehmender Tiefe angenommen. In der ersten Schicht unter der Oberfläche ist der Gradient vertikal gerichtet, in den übrigen geneigt.

Der Salzstock selbst wurde in 2 Schichten unterteilt (abgegrenzt durch die nach rechts ansteigende Gerade), weil die Schichtgrenzen eindeutige Funktionen von der horizontalen Koordinate x sein müssen und sich somit die rechte Flanke nicht geschlossen darstellen läßt. Weil in beiden Schichten

die gleiche konstante Geschwindigkeit 4.5 km/sec angenommen wurde, ist diese Schichtgrenze für die Berechnung der Strahlen jedoch unerheblich.

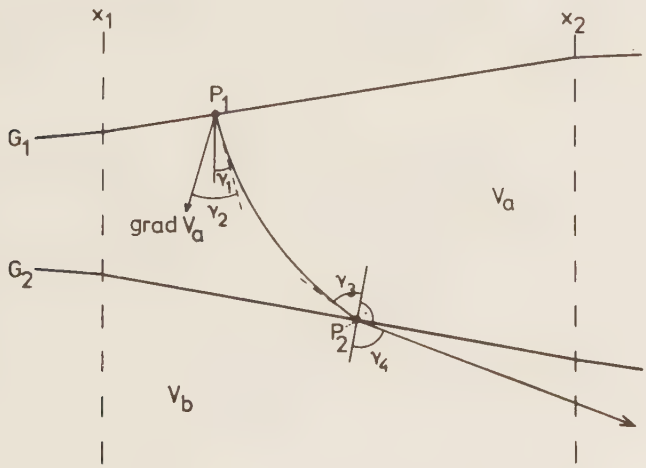


Abb.13. Skizze zur Erläuterung des Rechenganges

Im folgenden soll der Gang der Rechnung kurz skizziert werden. Hierzu ist in der Abbildung 13 ein Ausschnitt eines Modells dargestellt: zwischen den Werten x_1 und x_2 des x-Rasters sind die Schichtgrenzen G_1 und G_2 Geraden; die Geschwindigkeit v_b unterhalb G_2 ist konstant; die Geschwindigkeit v_a zwischen G_1 und G_2 nimmt linear zu, der Gradient grad v_a ist geneigt:

$$v_a = v_{a,o} + g_a \cdot z' \quad \text{mit} \quad g_a = \delta v_a / \delta z'$$

und z' in Richtung von grad v_a

Von Punkt P_1 gehe ein Strahl aus unter dem Winkel γ_1 gegen die Vertikale. (Für die Berechnung des weiteren Laufweges und der

weiteren Laufzeit ist es natürlich unerheblich, ob P_1 der Schußpunkt oder ein zuvor für den betreffenden Strahl berechneter Punkt ist).

Die Berechnungen beruhen auf Gesetzen analog denen der Strahlengeometrie. Die meisten der verwendeten Formeln sind in vielen geophysikalischen Lehrbüchern enthalten. Für die Ausarbeitung der Formeln wurde von Gamburzew (1965) ausgegangen.

Bei linearer Zunahme der Geschwindigkeit sind die Strahlwege Kreise. Zur Bestimmung von Kreismittelpunkt (x_o, z_o) und Radius (R) wird zunächst die Geschwindigkeit $v_{a,1}$ in P_1 und der Inzidenzwinkel γ_2 des Strahles bezüglich der Richtung von grad v_a berechnet. Damit können die Kreisparameter im Koordinatensystem x',z' (z' = Richtung von grad v_a, Ursprung = P_1) berechnet werden:

$$x_o' = v_{a,1} / (g_a \cdot \tan \gamma_2)$$
$$z_o' = - v_{a,1} / g_a$$
$$R = v_{a,1} / (g_a \cdot \sin \gamma_2)$$

Aus (x_o', z_o') wird dann durch Koordinatentransformation der Kreismittelpunkt (x_o, z_o) im Koordinatensystem x,z berechnet. Nun werden im Intervall von 3° Punkte auf dem so bestimmten Kreis errechnet, bis der Kreis eine der Schichtgrenzen G_1 oder G_2 schneidet. (Diese Zwischenwerte werden für das automatische Zeichnen der Strahlwege benötigt). Sodann wird der Schnittpunkt zwischen Kreis und Geradenstück der betreffenden Grenze berechnet, hier also der Punkt P_2.

Für die Berechnung der Laufzeiten wurde die folgende Formel abgeleitet, die in geschlossener Form für zwei beliebige Punkte eines Strahlkreises gilt; damit ergibt sich für die Laufzeit $T_{1,2}$ zwischen P_1 und P_2 im hier gezeigten Beispiel:

$$T_{1,2} = \left| \frac{1}{2 \cdot g_a} \right| \cdot \ln \frac{(R^2 - x_o'^2) + \left| x_1' \cdot R \right| + x_1' \cdot x_o'}{(R^2 - x_o'^2) - \left| x_1' \cdot R \right| + x_1' \cdot x_o'}$$

(x_1' bedeutet wieder, daß die x-Koordinaten im System x', z' vorzugeben sind). Die so errechnete Zeit wird zu der Laufzeit des Strahles bis zum Punkt P_1 addiert.

Nunmehr wird die Richtung des Strahles in P_2 und daraus der Einfallswinkel γ_3 bezüglich des Lotes auf das Geradenstück von G_2 errechnet. Mit den Geschwindigkeiten $v_{a,2}$ und v_b im Punkt P_2 wird zunächst geprüft, ob der Strahl totalreflektiert wird. (Auch der Fall $\gamma_4 = 90^o$, d.h. γ_3 = kritischer Einfallswinkel, durchgehender Strahl identisch G_2, wird zur Totalreflexion gerechnet, weil sonst am nächsten Knickpunkt von G_2 keine eindeutige Fortsetzung des Strahlweges gefunden werden könnte). Wird der Strahl nicht totalreflektiert, so errechnet sich der Winkel γ_4 nach dem Brechungsgesetz:

$$\gamma_4 = \arcsin \left(\frac{v_b}{v_{a,2}} \cdot \sin \gamma_3 \right)$$

Aus γ_4 und der Neigung von G_2 kann nun der Winkel des Strahles bezüglich der Vertikalen errechnet werden. Somit sind wieder die gleichen Parameter wie in P_1 bestimmt und die Rechnung kann in der zuvor geschilderten Weise fortgesetzt werden. (Im hier gezeigten Beispiel ist der Strahlweg jetzt allerdings eine Gerade, weil v_b konstant ist). - Diese Rechnungen werden für jeden Strahl solange durchgeführt, bis eine der Grenzen des Modells erreicht ist.

Der Rechengang ist also im Prinzip einfach. Insbesondere die Berücksichtigung aller Spezialfälle, wie z.B. Strahlrichtung parallel zur Richtung von grad v etc, und die Tatsache, daß die Umkehrfunktionen der Winkelfunktionen nicht eindeutig sind, führen jedoch zu einem komplizierteren Aufbau des Rechenprogrammes. Hierzu trägt auch das Bemühen um möglichst "kom-

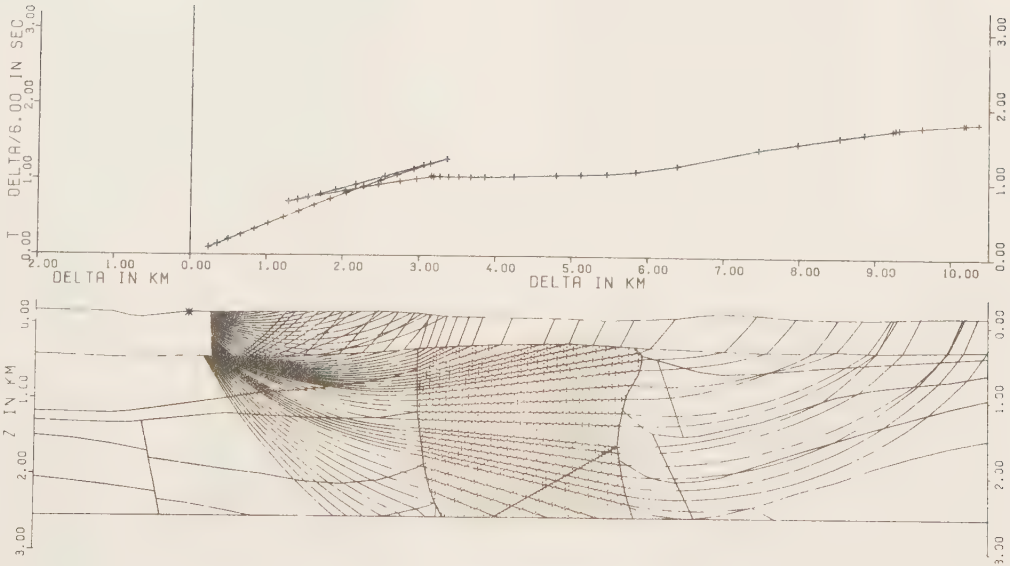


Abb.14. Strahlwege und Laufzeitkurve, errechnet für einen Schußpunkt an der Oberfläche im Modell entsprechend der Abb.12. Punktiert = Salzstock.

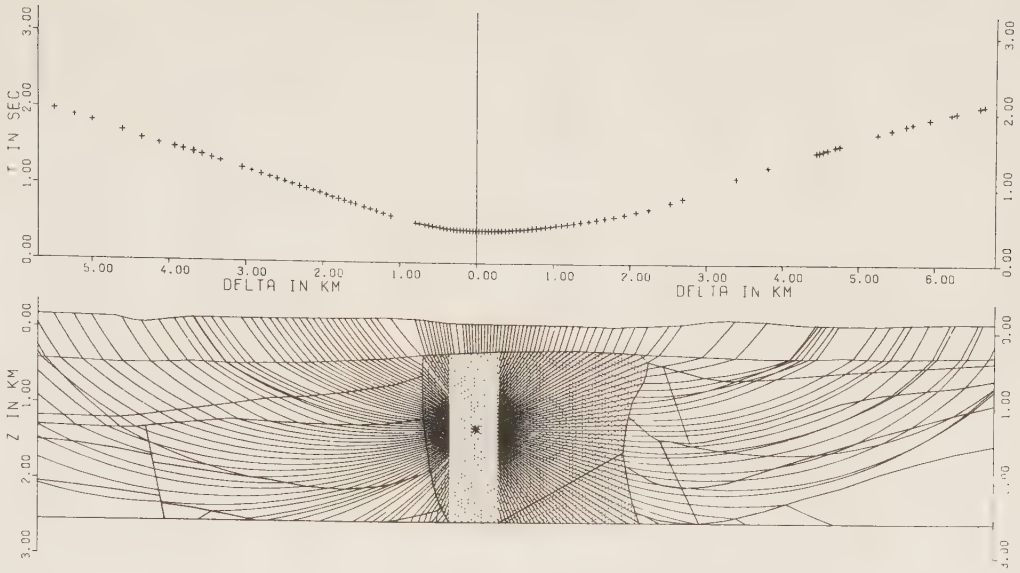


Abb.15. Strahlwege und Laufzeitkurven, errechnet für einen Schußpunkt im Salzstock im Modell entsprechend der Abb.12. Punktiert = Salzstock.

fortable" Ein- und Ausgabe bei. Dennoch wurde versucht, das Rechenprogramm möglichst rationell in Bezug auf Rechenzeit und Speicherbedarf zu schreiben. So ist die Rechenzeit für das in der Abbildung 12 gezeigte Modell für einen Schußpunkt im Salzstock mit 18o Strahlen (s. Abb. 15) kleiner als 35 sec, der Kernspeicherbedarf ist 3o k (Rechenanlage Telefunken TR 44o).

Die Abbildungen 14 und 15 zeigen die für zwei verschiedene Schußpunkte im Modell der Abbildung 12 errechneten Laufwege und Laufzeitkurven. Der Schußpunkt ist jeweils mit einem Stern markiert; die Strahlwege werden nicht unmittelbar vom Schußpunkt aus gezeichnet, weil sonst wegen der dichten Linien technische Schwierigkeiten am Zeichenautomaten auftreten könnten. Die Laufzeitkurven sind in der Abbildung 14 reduziert, in der Abbildung 15 unreduziert dargestellt.

Solche Modellrechnungen bieten über die Anwendung zur Auswertung hinaus weitere Möglichkeiten: z.B. können sie zur Planung von Schuß- und Meßpunkten für seismisch zu vermessende Profile herangezogen werden. Hierüber wird in Kapitel 7 anhand eines Beispieles berichtet.

5.2. Gang der Auswertung

Vorbemerkung: Im allgemeinen wird hier die Geschwindigkeits-Verteilung seismischer Longitudinalwellen diskutiert, weil meistens angenommen werden kann, daß die betrachteten Einsätze von Wellen solchen Typs erzeugt werden. Auf Ausnahmen (s. z.B. Kap. 6.5) wird besonders hingewiesen.

Zunächst wurden in allen Seismogramm-Montagen Korrelationen für alle deutlich erkennbaren Einsatzgruppen durchgeführt. In Zweifelsfällen wurden auch die in den Montagen nicht enthaltenen Spuren mit herangezogen.

Für die erste, näherungsweise Auswertung wurde das direkte Inversionsverfahren nach Herglotz-Wiechert verwendet (Herglotz 19o7, Wiechert 191o). Für dieses Verfahren wird von der Voraussetzung ausgegangen, daß die Geschwindigkeit seismischer Wellen nur eine Funktion der Tiefe ist. Aus einer Laufzeitkurve, deren Ableitung mit zunehmender Entfernung monoton abnimmt, die außerdem im Nullpunkt beginnt und keine Lücken aufweist, kann dann die Geschwindigkeits-Tiefen-Funktion berechnet werden.

Für diejenigen (Anfangs-) Teile der korrelierten Laufzeitkurven, für die diese Voraussetzungen in etwa erfüllt sind, wurden die genauen Laufzeiten für jede Station aus allen (maximal 3) verwendbaren Spuren der Original-Seismogramme (im Zeitmaßstab 4 cm/sec) entnommen. Sodann wurden ungefähre Sediment- und Höhenkorrekturen gemäß den geologischen und topographischen Verhältnissen durchgeführt. Aus mittleren, geglätteten Kurven durch die so erhaltenen Laufzeitwerte wurde jeweils die Geschwindigkeits-Tiefen-Funktion v(z) für den betreffenden Profilabschnitt bestimmt.

In den ersten Modellen wurden diese v(z)-Funktionen über den für die Auswertung verwendeten Abschnitt hinaus jeweils auf das gesamte Profil übertragen. Damit konnten zum einen die errechneten v(z)-Funktionen überprüft werden; zum anderen wurde so deutlich sichtbar, in welchen Bereichen Abweichungen vom Fall ebener Schichtung vorliegen. Diese ersten Modelle wurden folgendermaßen vorgegeben:

A. Die Oberflächen-Topographie wurde durch ein Polygon aus den Werten für Entfernung und Höhe der jeweiligen Meßpunkte dargestellt (s. Anhang, "Angaben zu Spuren").

B. Die aus der Auswertung nach Herglotz-Wiechert erhaltenen v(z)-Funktionen wurden jeweils durch mehrere Schichten mit konstantem, vertikalem Gradienten der Geschwindigkeit genähert.Dabei wurde nicht nur horizontal ausgedehnt, son-

dern z.T. auch vertikal, also in größere Tiefen, extrapoliert. Bei Profilen, für die keine v(z)-Funktion abzuleiten war, wurde eine solche eines Profils mit ähnlichen geologischen Verhältnissen (in beider Anfangsteil) verwendet.

C. Oberhalb einer durch die Höhe des tiefsten Punktes eines Profils bestimmten ebenen Schichtgrenze wurde bis zur Oberfläche eine "Deckschicht" mit jeweils konstanter Geschwindigkeit angenommen. Dies entspricht der Beobachtung, daß die Geschwindigkeit an der Oberfläche in gleichen Gesteinseinheiten nicht sehr unterschiedlich ist. Würde dagegen der hier erst von einer "Ausgleichstiefe" an geltende große Gradient der Geschwindigkeit bis zur Oberfläche fortgesetzt, so würde die Oberflächen-Geschwindigkeit sehr stark variieren und die errechneten Laufzeitskurven würden zu starke Topographie-Effekte aufweisen.

Die Rechnungen für diese ersten Modelle zeigen für einige Profile, deren Anfangsteile jeweils in der gleichen geologischen Einheit liegen, gute Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Laufzeitkurven. Die so für diese Profilteile ermittelten Geschwindigkeits-Tiefen-Funktionen (5 aus dem Bereich der Nördlichen Kalkalpen, 1 aus den Grauwacken) werden zu Beginn des Kapitels 6 erläutert und in der Abbildung 16 dargestellt.

Von diesen Ergebnissen ausgehend wurden nun die 2. Modelle, jetzt mit zweidimensionaler Geschwindigkeitsverteilung, konstruiert. Dabei wurde für die Teile, für die solche direkten Auswerte-Ergebnisse nicht existieren, ein möglichst einfacher Modellaufbau angenommen. Damit soll einerseits die Zahl der zu variierenden Modellparameter klein gehalten werden, andererseits sollen die gemessenen Laufzeitkurven nicht überinterpretiertwerden. Die Ergebnisse von Modellrechnungen sind ja nicht eindeutig. Prinzipiell kann eine gemessene Laufzeitkurve durch viele verschiedene Modelle des Untergrundes erklärt werden. Nimmt man nur dort einen differenzierteren Modellaufbau an, wo es zur Erklärung der Meßergebnisse zwingend

erforderlich ist, bzw. wo es durch andere Randbedingungen (z.B. Ergebnisse anderer Messungen für den betreffenden Raum, Geologie der Oberfläche) vorgegeben ist, so kann man davon ausgehen, daß mit dem ermittelten Modell ein möglichst breiter Rahmen der möglichen Modelle überdeckt wird.

Im folgenden wird die allgemeine Gliederung der 2. Modelle skizziert. Spezielle Angaben zu den einzelnen Profilen folgen im Kapitel 6.

A. Für die ungefaltete Molasse wurden die Geschwindigkeitsverteilung und Mächtigkeit im wesentlichen nach John (1957), Lemcke (1973) und Veit (1963) angenommen.

B. Die gefaltete Molasse wird in den Modellen mit Flysch und Helvetikum zu einer Einheit zusammengefaßt, weil die Unterschiede in den Geschwindigkeiten relativ gering sind (Prodehl 1964, Reich 1960b, Breyer und Dohr 1959). Für die Geschwindigkeit ergaben sich auch aus den ersten Meßpunkten der Profile Rohrdorf-S und Rohrdorf-E Anhaltspunkte.

C. Die Geschwindigkeitsverteilung und Mächtigkeit der Kalkalpen wurde entsprechend der direkten Auswertung der hier betrachteten Profile und den Ergebnissen der 1. Modellrechnung vorgegeben.

D. Die geologischen Einheiten Buntsandstein - Werfener Schichten, Grauwacken, Innsbrucker Quarzphyllit und Penninnikum wurden zu einer Einheit zusammengefaßt, weil sich kein eindeutiger Hinweis für große Geschwindigkeits-Unterschiede ergab.

Diese kurze Aufstellung zeigt, daß die Untergrundsverhältnisse beim Aufbau der Modelle sehr schematisch dargestellt werden und damit das Prinzip möglichst einfacher Modelle gewahrt ist. Ausgehend von den Anfangsteilen der Profile, für die bereits nach der direkten Auswertung und der ersten Modellrechnung gemessene und errechnete Laufzeitkurven übereinstimmen,

werden nun in größeren Entfernungen und Tiefen die Modellparameter variiert, um auch für die übrigen Profilabschnitte eine solche Übereinstimmung zu erzielen. Gegenschußprofile werden dabei mit gemeinsamen Modellen ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen werden im folgenden Kapitel 6 gezeigt und erläutert.

6. AUSWERTE - ERGEBNISSE

Bei der Erläuterung der Auswerte-Ergebnisse wird an manchen Stellen auf die tektonischen Einheiten Allgäu- und Lechtal-Decke im NW und Staufen-Höllengebirgs-Decke im SE der Nördlichen Kalkalpen im Meßgebiet Bezug genommen. Die Grenze zwischen diesen Einheiten streicht im Meßgebiet etwa SW - NE. Westlich des Inn liegt sie südlich, östlich des Inn nördlich der Meßpunkte des Profils Golling-W und schneidet das Profil Marquartstein-S etwa bei dessen viertem Meßpunkt; in der Nähe des dritten Meßpunktes des Profils Lofer-N erreicht sie den Nordrand der Kalkalpen.

6.1. Geschwindigkeits-Tiefen-Funktionen

In den zweidimensionalen Modellen für die einzelnen Profile (gezeigt in den Abbildungen 18 - 26) sind auch jene Gebiete enthalten, für die nach der ersten direkten Auswertung und Modellrechnung die Vorstellung eindimensionaler Geschwindigkeitsverteilung die Meßwerte befriedigt (s.Kap. 5.2). Die entsprechenden Geschwindigkeits-Tiefen-Funktionen v(z) sind in der Abbildung 16 dargestellt, und zwar in der Form und bis zu der Tiefe, wie sie durch die berechneten Modelle bestätigt wurden. Die v(z)- Funktionen bestehen jeweils aus 2 - 3 Abschnitten mit konstantem Gradienten der Geschwindigkeit und einer "Deckschicht" mit konstanter Geschwindigkeit. Der Wert z = 0 entspricht immer der Höhe des betreffenden Schußpunktes.

Besonders auffällig ist die gute Übereinstimmung der v(z)-Funktionen der Profile Golling-W und Lofer-N. Längs beider Profile ist die Geschwindigkeit sehr groß: von etwa 5.5 km/sec an der Oberfläche bis zu 7 km/sec und darüber in der Tiefe. Im Gebiet dieser beiden Profile läßt sich eine mittlere Mächtigkeit der Kalkalpen von 3 - 3.2 km angeben. Dies gilt für die Schichten der Kalkalpen mit hoher Wellengeschwindigkeit. Es ist möglich, daß darunter noch weitere zum Kalkalpin gehörige Schichten mit geringerer Wellengeschwindigkeit liegen, jedoch

kann hierüber aus den Messungen keine Aussage gemacht werden.

Auch die v(z)-Funktion des Profils Antoniberg-E stimmt gut mit den letzteren beiden überein. Sie reicht jedoch nur bis ca. 7oo m Tiefe, weil für dieses Profil von etwa 6 km Schußpunkts-Entfernung an die Voraussetzungen für ein eindimensionales Modell offensichtlich nicht mehr erfüllt sind (s. Kap. 6.4).

Die diesen v(z)-Funktionen entsprechenden Abschnitte der 3 Profile Golling-W, Lofer-N und Antoniberg-E liegen in der Staufen-Höllengebirgsdecke der Nördlichen Kalkalpen; die Meßpunkte liegen überwiegend auf Dachsteinkalk und Hauptdolomit, einige auf Wettersteinkalk und Ramsaudolomit.

Der Teil des Profils Gartenau-S, für den die in der Abbildung 16 gezeigte v(z)-Funktion abgeleitet wurde, liegt ebenfalls in der Staufen-Höllengebirgs-Decke, jedoch stehen hier Neokom- und Jurakalke zu Tage an. Diese haben offenbar nicht so große Wellengeschwindigkeiten v : an der Oberfläche ist v etwa gleich 4.2 km/sec, nimmt dann aber stark zu und ist ab 6oo m Tiefe größer als 6 km/sec; in ca. 1.7 km Tiefe werden ca. 6.5 km/sec erreicht. Für größere Tiefen werden also ähnlich große Geschwindigkeiten für das Kalkalpin ermittelt wie auf den vorher besprochenen Profilen. Über die Mächtigkeit der Kalkalpen kann hier keine Aussage gemacht werden, weil - wie beim Profil Antoniberg-E - auch beim Profil Gartenau-S von einer bestimmten Entfernung an die Voraussetzungen für ein eindimensionales Modell nicht mehr erfüllt sind (s.Kap. 6.3).

Die v(z)-Funktion für den im Kalkalpin liegenden Teil des Profils Marquartstein-S weist gegenüber den vorherigen insgesamt niedrigere Geschwindigkeiten auf: 6 km/sec werden erst in etwa 1.9 km Tiefe erreicht, der Maximalwert ist etwa 6.4 km/sec in ca. 3.2 km Tiefe. Das Profil beginnt in der Allgäu- und der Lechtal-Decke; zwischen 8.5 und 25 km Schußpunkts-Entfernung liegen die Meßpunkte in der Staufen-Höllengebirgs-Decke.

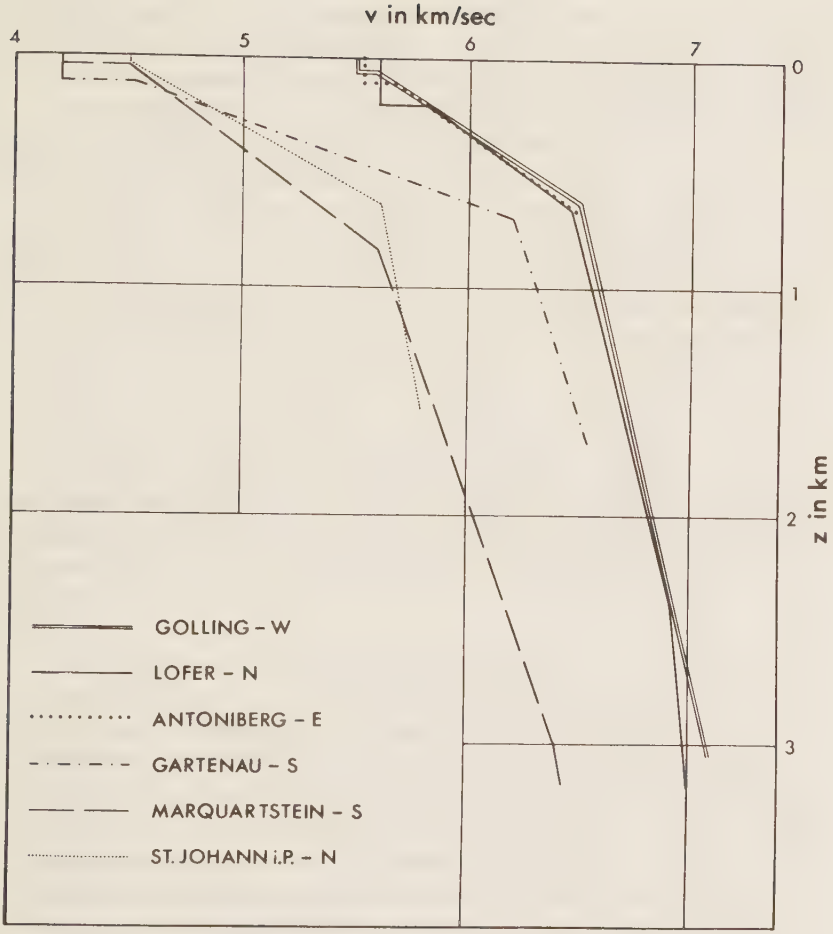


Abb.16. 5 Geschwindigkeits-Tiefen-Funktionen für die Nördlichen Kalkalpen zwischen Salzach und Inn, abgeleitet aus den Anfangsteilen der Profile Golling-W, Lofer-N, Antoniberg-E, Gartenau-S und Marquartstein-S mit einer aus dem Profil St. Johann i.P. - N abgeleiteten Geschwindigkeits-Tiefen-Funktion für Grauwacke und Werfener Schichten im Bereich der Salzach.

Die niedrigeren Geschwindigkeiten könnten für den Bereich der Allgäu- und Lechtal-Decke mit einer gegenüber der Staufen-Höllengebirgs-Decke stärkeren tektonischen Beanspruchung erklärt werden. Für den Bereich der Staufen-Höllengebirgs-Decke selbst läßt sich eine Erklärung nicht ohne weiteres finden, zumal hier größtenteils die gleichen Gesteine anstehen wie bei den oben besprochenen Profilen. Da außerdem bei der Modellrechnung zwar eine gute Übereinstimmung zur gemessenen Laufzeitkurve vorhanden ist, einige Effekte in der Seismogramm-Montage aber nicht erklärt werden (s. Kap. 6.4) ist die hier gezeigte v(z)-Funktion mit größerer Unsicherheit behaftet als die der übrigen Profile.

Außer den 5 v(z)-Funktionen aus den Nördlichen Kalkalpen ist in der Abbildung 16 noch eine aus dem Profil St. Johann i.P. - N abgeleitete v(z)-Funktionen für Grauwacken und Werfener Schichten angegeben. Diese beiden Einheiten wurden zusammengefaßt, weil sich aus den Meßwerten keine eindeutigen Hinweise für große Unterschiede der Geschwindigkeiten ergaben.

6.2. Legende zur Darstellung der Modelle

In den folgenden Abbildungen 17 - 23 sind die Modelle und die Strahlen alle im gleichen Maßstab und nicht überhöht dargestellt. Der verwendete x,z-Maßstab ist außerdem gleich dem Entfernungsmaßstab der in den Abbildungen 4 - 9 gezeigten Seismogramm-Montagen. Nur in den Abbildungen 24 - 26 für die Profile Golling-W und Eschenlohe-E wurde ein anderer x,z-Maßstab gewählt; er ist gleich dem Entfernungsmaßstab in der Abbildung 1o (Seismogramm-Montage des Profils Golling-W). Die Modelle und Strahlen sind auch hier nicht überhöht wiedergegeben. Die Darstellung der Modelle soll im folgenden anhand der Abbildung 17 erläutert werden.

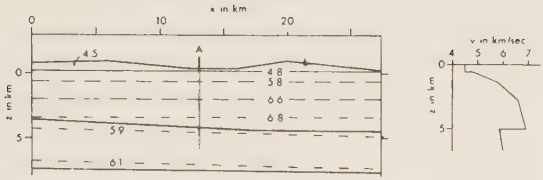


Abb.17. Skizze zur Legende zur Darstellung der Modelle. Links: Modellschema; Zahlen = Geschwindigkeit in km/sec. Rechts: v(z)-Funktion an der Stelle A des Modellschemas.

Alle gezeigten Modelle geben die jeweilige Verteilung der Geschwindigkeit der seismischen Longitudinalwelle wieder. Die Zahlen in den Modellen bezeichnen den Wert dieser Wellengeschwindigkeit in der Einheit km/sec für Schichten oder Linien gleicher Geschwindigkeit.

Die durchgezogenen, dicken Linien teilen größere Schichten gegeneinander ab, die als eine geologische Einheit interpretiert werden können und an deren Grenzen sich die Geschwindigkeit im allgemeinen sprunghaft ändert. Innerhalb dieser Schichten werden sprunghafte Änderungen durch eine dünne durchgezogene Linie dargestellt. Normalerweise ist diese Linie die Basis einer "Deckschicht" mit konstanter Geschwindigkeit (s. auch Kap. 5.2). Ansonsten ändert sich die Geschwindigkeit nur stetig. Die verschiedenen (jeweils konstanten) Gradienten der Geschwindigkeit sind durch gestrichelte Linien gegeneinander abgeteilt. An den strichpunktierten Linien ändert sich der Gradient nicht; sie dienen dazu, den von der letzten gestrichelten Linie bis zur Schichtgrenze geltenden Gradienten dazustellen.

Die mit einem Buchstaben versehene vertikale Linie kenn-

zeichnet die Stelle eines Modells, für die eine Geschwindigkeits-Tiefen-Funktion gezeigt wird. Diese v(z)-Funktion ist in der Abbildung 17 neben dem Modell dargestellt. Dabei ist zu beachten, daß sich bei den Modellen und den Laufwegen der Strahlen die Z-Achsen auf NN beziehen, während der Wert Z = O bei den v(z)-Funktionen der Höhe des jeweiligen Schußpunktes entspricht.

Bis auf die strichpunktierten Linien sind alle anderen Linien eines Modells auch in der zugehörigen Computer-Zeichnung der Strahlen enthalten. Über dieser Zeichnung wird jeweils ein Ausschnitt der Seismogramm-Montage des betreffenden Profils mit den als Kreuze eingetragenen errechneten Laufzeiten wiedergegeben.

An der Oberfläche der Modelle werden die geologischen Einheiten entsprechend der Abbildung 3 angegeben und durch vertikale punktierte Linien abgegrenzt. Helvetikum, Flysch und Molasse werden dabei - wie in Kapitel 5.2 erläutert - zu einer Einheit zusammengefaßt (Abkürzung: H, F, FM).

In den Abbildungen 4 - 1o wurden alle Seismogramm-Montagen mit dem Schußpunkt links dargestellt. In den folgenden Bildern ist bei den Gegenschußprofilen, die mit einem gemeinsamen Modell ausgewertet wurden, jeweils eine Montage gedreht worden, (so daß ihr Schußpunkt rechts liegt), damit das Modell gleich orientiert ist.

Es ist zu beachten, daß die N-S bzw. E-W - Orientierung nicht auf allen Abbildungen gleich ist. Die Modelle sind nach den ungefähren Profilrichtungen beschriftet; auf Abweichungen vom "Normalfall" N bzw. W links, S bzw. E rechts wird im jeweiligen Bildtext hingewiesen. - Bei den folgenden Beschreibungen der einzelnen Profile werden weitere Einzelheiten und etwaige Abweichungen vom hier geschilderten Schema erläutert.

6.3. Die Profile Gartenau-S, St. Johann i.P. - N

Diese beiden Profile stellen auf dem Abschnitt zwischen den Schußpunkten bei Gartenau und St. Johann i.P. ein Gegenschuß-Profil dar. Sie werden deshalb mit einem gemeinsamen Modell ausgewertet.

Das Ergebnis der Modellrechnung ist in der Abbildung 18 wiedergegeben. Es sei vorausgeschickt, daß mit dem in dieser Abbildung gezeigten Modell nicht an allen Stellen der beiden Seismogramm-Montagen Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Laufzeiten erzielt werden konnte. Im folgenden soll zunächst erläutert werden, aus welchen Gründen das Modell in der gezeigten Weise konstruiert wurde,

Für die Kalkalpen konnte von der für die ersten 6 Stationen des Profils Gartenau-S abgeleiteten Geschwindigkeits-Tiefen-Funktion ausgegangen werden. Es wurde angenommen, daß diese v(z)-Funktion für eine Schicht aus Neokom- und Jura-Kalken, die vom Nordrand des Modells bis zu einer Schußpunkts-Entfernung Δ = 13 km des Profils Gartenau-S anstehen, gilt.

Für die südlich davon anstehenden Dachstein-Kalke wurde die aus dem Anfangsteil des Profils Golling-W abgeleitete v(z)-Funktion verwendet (s. Abb. 16); der Schußpunkt bei Golling liegt etwa bei Δ = 18 km des Profils Gartenau-S.

Die Nördlichen Kalkalpen bestehen bei diesem Modell also aus 2 Schichten. Wie aus der Abbildung 18, unten, ersichtlich, wurde dabei angenommen, daß die im Süden anstehende Schicht mit hoher Wellengeschwindigkeit im Norden von einer Schicht mit etwas niedrigerer Wellengeschwindigkeit überlagert wird.

Südlich der Kalkalpen wurde von einer für die ersten 5 Stationen des Profils St. Johann i.P. - N abgeleiteten v(z)-Funktion ausgegangen; Werfener Schichten, Grauwacken und Penninikum wurden zu einer Schicht mit gleicher Geschwindigkeits-Verteilung zusammengefaßt.

Aus der Darstellung der Seismogramm-Montagen mit den errechneten Laufzeiten und Strahlen für die beiden Profile (Abb. 18) läßt sich ableiten, welche Teile des Modells die Meßwerte befriedigen, bzw. wo das Modell nicht gesichert ist:

Im Norden stimmen für die Schicht mit 4.2 bis etwa 6.5 km/sec Wellengeschwindigkeit und etwa 1.7 km Mächtigkeit (nach den Gesteinen an der Oberfläche als aus Neokom- und Jura-Kalken bestehend interpretiert) die errechneten Laufzeiten gut mit den auf den Spuren 1-6 des Profils Gartenau-S erkennbaren Ersteinsätzen überein. Die v(z)-Funktion (A) ist in der Abbildung 16 wiedergegeben.

Eine relative Verzögerung, die an der Spur 5 deutlich und an der Spur 4 schwächer bemerkbar ist, wird mit dem Modell nicht erklärt. Sie könnte in ähnlicher Weise, wie dies bei dem Modell für das Profil Golling-W geschehen ist (s.Kap. 6.8), durch einen linsenförmigen "Körper" geringerer Wellengeschwindigkeit nahe der Oberfläche im Bereich dieser beiden Spuren erzeugt werden. Auch eine an der 9. gegenüber der 8. Spur des Profils St. Johann i.P. - N erkennbare relative Verzögerung würde für eine solche Erklärung sprechen. Bei dem letzteren Profil stimmen aber die errechneten Laufzeiten im Bereich der Kalkalpen generell noch nicht mit den gemessenen überein. Solange eine solche großräumige Übereinstimmung nicht erzielt werden kann, scheint es nicht sinnvoll, lokale Effekte in den Laufzeitkurven zu berücksichtigen. Daher wurde ein Körper geringerer Wellengeschwindigkeit nicht in das Modell eingefügt, obwohl im betreffenden Raum nördlich des Ortes Kuchl die Existenz eines solchen etwa aus Salz oder Haselgebirge bestehenden Körpers nach den geologischen Verhältnissen möglich erscheint.

Im Anfangsteil des Profils St. Johann i.P. - N im Bereich der Werfener Schichten und der Grauwacken stimmen errechnete und gemessene Laufzeiten gut überein. Die v(z)-Funktion (B) bis zur maximalen Eintauchtiefe der betreffenden Strahlen ist in der Abbildung 16 wiedergegeben. Auch auf dem Profil Gartenau-S liegen die errechneten Laufzeiten in diesem Bereich bei den

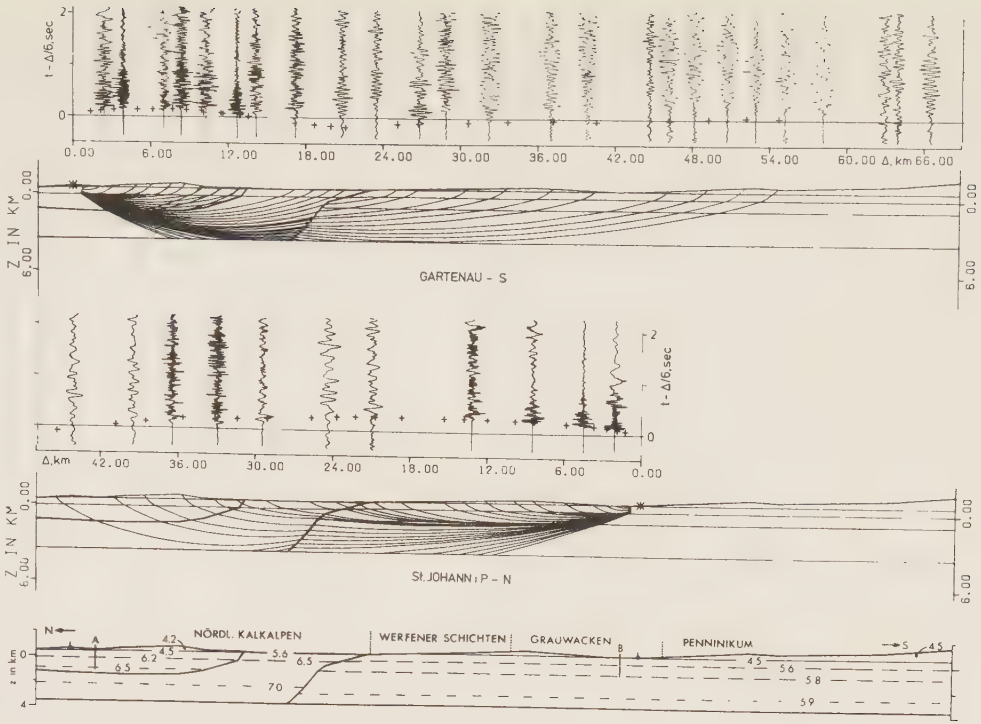


Abb.18. Seismogramm-Montagen (Ausschnitte) mit errechneten Laufzeiten (Kreuze) und Strahlen für die Profile Gartenau-S (oben) und St. Johann i.P. - N (mitte). Unten: gemeinsames Modell (Legende Kap. 6.2). Die Kalkalpen bestehen hier aus zwei Schichten mit unterschiedlicher Geschwindigkeits-Verteilung!

gemessenen, allerdings z.T. nur schwach ausgeprägten, Ersteinsätzen. Das Gleiche gilt in etwa für die im Penninikum liegenden Stationen dieses Profils. Hier ist es aber noch schwerer, die Ersteinsätze in den Seismogrammen festzulegen und zu Korrelieren; die errechneten Laufzeiten scheinen hier im allgemeinen etwas zu klein zu sein.

Wie oben bereits erwähnt, zeigen sich Abweichungen zwischen errechneten Laufzeiten und beobachteten Ersteinsätzen ebenfalls bei den im Kalkalpin liegenden Stationen des Profils St. Johann i.P. - N, und zwar sind die errechneten Laufzeiten gegenüber den gemessenen bei den Spuren 7 - 9 dieses Profils zu groß. Zur Korrektur müßten die Schichtgrenzen des Modells geändert werden, weil die Geschwindigkeits-Verteilung in den einzelnen Schichten nach dem oben Gesagten als gut gesichert angesehen werden kann. Bei einer solchen Modellkorrektur müßte aber berücksichtigt werden, daß an den im Dachsteinkalk liegenden Spuren 7 - 9 des Profils Gartenau-S die Differenz zwischen gemessenen und errechneten Laufzeiten gerade entgegengesetzt zu der auf dem Profil St. Johann i.P. - N ist: hier sind die errechneten Laufzeiten zu klein.

Es konnte kein gemeinsames Modell für die Profile Gartenau-S und St. Johann i.P. - N gefunden werden, bei dem diese entgegengesetzten Differenzen beide geringer waren als bei dem in der Abbildung 18 gezeigten Modell. Gegenüber diesem Modell kann die tatsächliche Form der Schichtgrenzen in den Kalkalpen und zwischen Kalkalpen und Werfener Schichten also noch Abweichungen aufweisen.

Auch die untere Begrenzung des Modells muß nicht mit tatsächlichen Schichtgrenzen identisch sein. So ergibt sich z.B. für die Kalkalpen, die hier bis zur Tiefe 3.5 km u. NN reichen, bei der Auswertung der Profile Golling-W, Lofer-N, Marquartstein-S und Kiefersfelden-N eine mittlere Mächtigkeit von etwa 3 km. Hierüber kann für die beiden Profile Gartenau-S und St. Johann i.P. - N wegen der genannten Schwierigkeiten bei der Interpretation jedoch keine gesicherte Aussage gemacht werden.

6.4. Die Profile Gartenau-W, Antoniberg-E, Marquartstein-S

Für diese drei Profile werden nur Modelle mit ebener Schichtung gezeigt; sie sind daher in der Abbildung 19 gemeinsam gargestellt. Die Modelle wurden nicht gesondert abgebildet; statt dessen sind die Schichten bzw. Linien gleicher Geschwindigkeit in den Zeichnungen der Strahlen beschriftet worden.

Beim Profil Gartenau-W wurde für die Modellrechnung die aus den Profilen Gartenau-S und St. Joahnn i.P. - N für Neokom- und Jura-Kalke abgeleitete v(z)-Funktionen verwendet (mit Extrapolation in größere Tiefen). Die damit errechneten Laufzeiten stimmen bis zur Schußpunkts-Entfernung Δ = 1o km gut mit den beobachteten Ersteinsätzen überein;dies gilt natürlich besonders für die ebenfalls in Neokom- bzw. Jura-Kalk gelegenen Stationen 1 und 3. An den Spuren 2 und 4 zeigen sich dagegen kleine Abweichungen: die tatsächlichen Ersteinsätze haben kleinere Laufzeit als die errechneten, weil die Stationen in Dachsteinkalk mit höherer Wellengeschwindigkeit liegen. (Es sei noch auf eine Besonderheit der Station 2 hingewiesen: sie lag auf dem Untersberg in 18oo m Höhe ü. NN und weist gegenüber den benachbarten Stationen eine Höhendifferenz von etwa 125o m auf.) Für Entfernungen Δ > 1o km sind die beobachteten gegenüber den errechneten Laufzeiten deutlich verzögert. Der Betrag der Verzögerung wird mit zunehmender Entfernung größer. Außerdem werden die Ersteinsätze schwächer und schwerer korrelierbar; ab Δ = 45 km sind in den Seismogrammen keine eindeutigen Einsätze mehr zu erkennen. Für eine Erklärung dieser Verzögerung kann auch das Profil Antoniberg-E zu Hilfe genommen werden, das einen Gegenschuß für die ersten 19 km des Profils Gartenau-W darstellt:

Das erste Auswerte-Ergebnis für das Profil Antoniberg-E ist die in der Abbildung 16 gezeigte v(z)-Funktion. Sie kann zwar nur für die ersten beiden Stationen dieses Profils abgeleitet werden und gilt dementsprechend nur bis zu einer Tiefe von etwa 65o m unter der Oberfläche, zeigt aber auf diesem Stück eine sehr gute Übereinstimmung mit den ebenfalls in der Abbildung

16 dargestellten v(z)-Funktionen für die Profile Golling-W und Lofer-N. Damit erweist sich, daß Hauptdolomit und Ramsaudolomit - diese Gesteine stehen auf dem Anfangsteil des Profils Antoniberg-E an - ebenso große Wellengeschwindigkeit haben wie Dachsteinkalk und Wettersteinkalk, die längs der für die v(z)-Funktionen verwendeten Abschnitte der Profile Golling-W und Lofer-N (neben ebenfalls Hauptdolomit für letzteres Profil) anstehen. Die Extrapolation der v(z)-Funktion in größere Tiefen im Modell für das Profil Antoniberg-E wurde daher auch entsprechend den v(z)-Funktionen für die letzteren beiden Profile durchgeführt. Gegenüber den damit errechneten Laufzeiten zeigen die beobachteten Ersteinsätze wie auf dem Profil Gartenau-W, hier aber schon für $\Delta > 7$ km, eine Verzögerung; ihr Betrag ist auf den letzten beiden Spuren kleiner als auf der dritten Spur.

Bei genauer Betrachtung der Lage der Meßpunkte der Profile Gartenau-W und Antoniberg-E (s.Abb. 3) zeigt sich, daß die Verzögerung bei beiden Profilen ungefähr am gleichen Ort, etwa 1.5 km E des Ortszentrums von Bad Reichenhall, beginnt. Es liegt daher die Annahme nahe, daß das Material geringerer Wellengeschwindigkeit, das diese Effekte in den Laufzeitkurven hervorruft, Salz bzw. Haselgebirge ist. Schon aus den für die Modelle mit ebener Schichtung errecheten Strahlen läßt sich ersehen, daß dieses Material in einem Gebiet etwa 1.5 km E Bad Reichenhalls nahe der Oberfläche lagert; nach W und E muß seine obere Begrenzung abtauchen, weil hier die Laufzeiten zu den ersten 2 bzw. ersten 4 Stationen nicht verzögert sind. Weiterhin kann aus den Messungen auf dem Profil Lofer-N, wo in den Kalkalpen keine Verzögerung beobachtet wurde (s.Kap. 6.5), ausgeschlossen werden, daß die Verzögerungen auf dem Profil Gartenau-W etwa durch eine lateral ausgedehnte, in die Kalkalpen eingelagerte Schicht geringerer Wellengeschwindigkeit hervorgerufen würde.

Es gibt also einige Hinweise und Randbedingungen, mit deren Hilfe eine zweidimensionales gemeinsames Modell für die Profile Gartenau-W und Antoniberg-E in erster Näherung konstruiert werden könnte. Die Frage der Lagerungsverhältnisse des Salzes im Raum um Bad Reichenhall ist aber ein spezielles

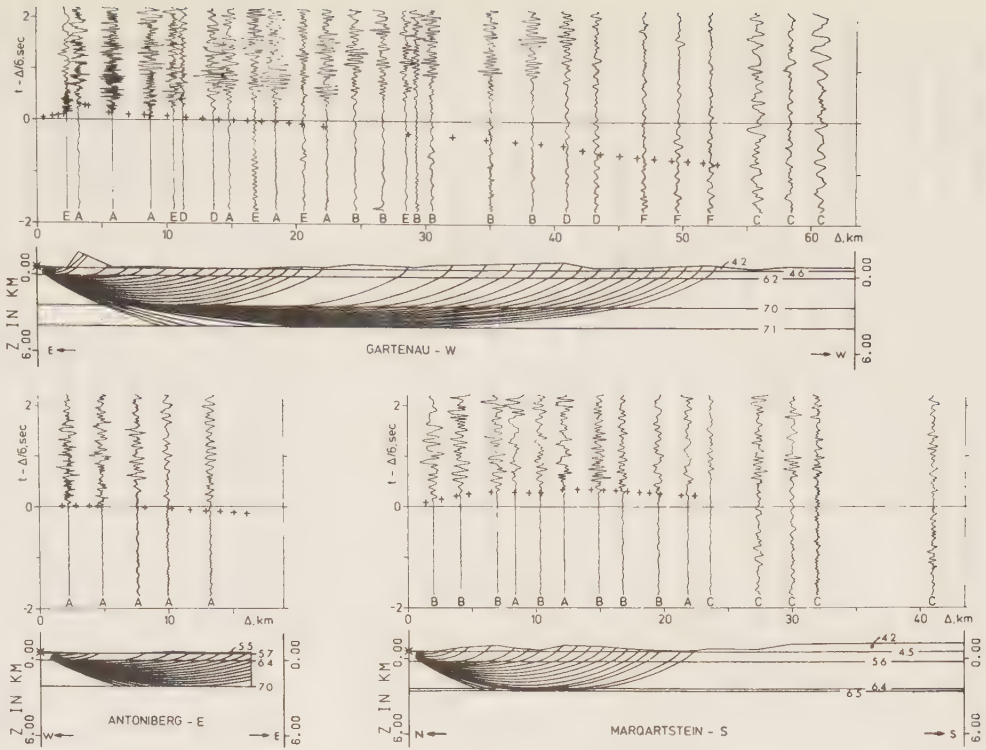


Abb.19. Seismogramm-Montagen (Ausschnitte) mit errechneten Laufzeiten (Kreuze) und Strahlen für Modelle mit ebener Schichtung für die Profile Gartenau-W, Antoniberg-E und Marquartstein-S. Orientierung des Profils Gartenau-W: links E, rechts W.

Problem, auf das im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden soll.

Im Gegensatz zu den eben behandelten Profilen stimmen beim Profil Marquartstein-S die für ein Modell mit ebener Schichtung errechneten Laufzeiten gut mit den gemessenen überein, zumindest solange die Stationen im Kalkalpin liegen, also bis etwa Δ = 23 km (s.Abb. 19). Die zugehörige v(z)-Funktion ist in der Abbildung 16 dargestellt. Wie im Kapitel 6.1 bei der Erläuterung dieser v(z)-Funktion bereits erwähnt, gibt es aber einige Argumente, die gegen ein solches eindimensionales Modell - auch im Bereich der Kalkalpen allein - sprechen. So liegt z.B. der Abschnitt zwischen Δ = 1o und Δ = 23 km des Profils Marquartstein-S in der Staufen-Höllengebirgs-Decke; die Gesteine an der Oberfläche sind Hauptdolomit und Raumsaudolomit. Für solche Gesteine - ebenfalls in der Staufen-Höllengebirgs-Decke - wurden auf den Profilen Lofer-N und Antoniberg-E aber wesentlich höhere als die hier angegebenen Wellengeschwindigkeiten gemessen (s.o. und Abb. 16). Weiterhin ist bei den Spuren 6 und 7 der Seismogramm-Montage des Profils Marquartstein-S jeweils etwa o.2 sec vor einem kräftigen Einsatz ein schwächerer Einsatz zu erkennen. Die errechneten Laufzeiten stimmen mit den späteren gemessenen überein; die früheren Einsätze werden also mit dem Modell nicht erklärt.

Daher wurden zweidimensionale Modelle konstruiert, bei denen die hier für die gesamten Kalkalpen verwendete v(z)-Funktion nur für den in der Allgäu- und der Lechtal-Decke liegenden Teil des Profils (etwa bis Δ = 1o km) galt. Für den anschließenden Abschnitt in der Staufen-Höllengebirgs-Decke wurde die v(z)-Funktion des Profils Lofer-N verwendet, ab etwa Δ = 23 km in Buntsandstein und Grauwacken die v(z)-Funktion des Profils St. Johann i.P. - N. Aber auch bei Berücksichtigung kleinräumigerer Einflüsse, z.B. durch den Kössener Trog, konnte keine bessere Übereinstimmung der errechneten mit der beobachteten Laufzeitkurve erzielt werden.

Hier wird deshalb das eindimensionale Modell als dasjenige mit der besten Näherung der errechneten Laufzeiten an die gemessenen (im Bereich der Kalkalpen) gezeigt. Aus dieser Modellrechnung ergibt sich für die maximale Mächtigkeit der Kalkalpen längs des Profils Marquartstein-S ein Wert von ca 3.2 km, der etwa gleich dem für die Profile Golling-W und Lofer-N erhaltenen Wert ist (s. Kap. 6.1 und 6.5, 6.8).

Ergänzend sei noch erwähnt, daß bei der Rechnung mit zweidimensionalen Modellen für das Profil Marquartstein-S eine Unterlagerung der Kalkalpen bis etwa 8 - 1o km S vom Alpen-Nordrand von Material mit Wellengeschwindigkeiten zwischen 4 und 5 km/sec (was etwa gleich derjenigen von Flysch, Helvetikum und Molasse ist) und mit einigen km Mächtigkeit angenommen wurde. Aus der Auswertung von im gleichen Areal durchgeführten magnetotellurischen Messungen wurde nämlich ein Modell mit solch einer Unterlagerung abgeleitet (Kemmerle 1973). Aus den seismischen Modellrechnungen ergab sich, daß für solche Modelle im Bereich des Profils Marquartstein-S keine Strahlen aus der unterlagernden Schicht die Erdoberfläche erreichen (s. hierzu auch Kap. 7). Somit ist aus diesem Profil keine Aussage über das Material unterhalb der Kalkalpen möglich.

6.5. Das Profil Lofer-N

Das Ergebnis der Modellrechnung für dieses Profil ist in der Abbildung 2o wiedergegeben. Die v(z)-Funktion (A), die für die Schicht der Kalkalpen gilt, zeigt die Abbildung 16. Bei der Ableitung dieser Funktion konnte nicht wie bei den anderen Profilen verfahren werden, weil die erste Meßstation auf dem Profil Lofer-N erst bei Δ = 13 km liegt. Ein Vergleich der für größere Entfernungen auf diesem Profil in den Kalkalpen gemessenen Laufzeitkurve mit derjenigen (korrigierten, s.Kap. 5.2 und 6.8) des Profils Golling-W aus dem gleichen Entfernungsbereich zeigte aber gute Übereinstimmung. Da außerdem beide Profile auf den jeweiligen Abschnitten bis mindestens Δ = 13 km in der

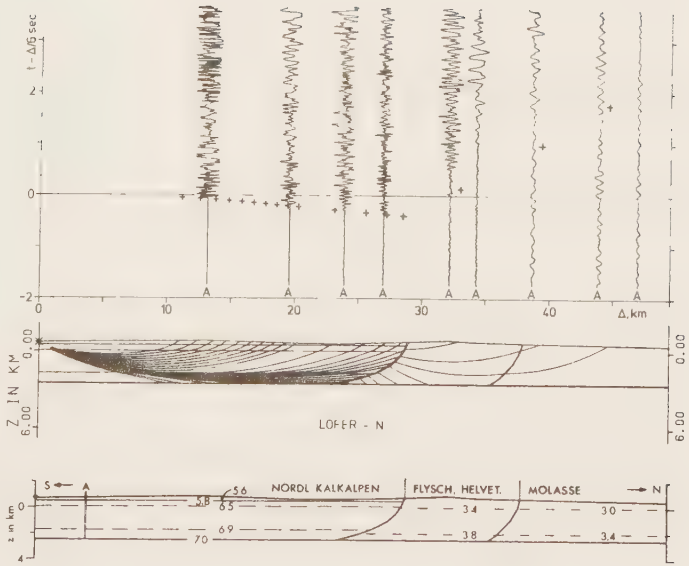


Abb.20. Seismogramm-Montage (Ausschnitt) mit errechneten Laufzeiten (Kreuze), darunter errechnete Strahlen und Modell für das Profil Lofer-N (Legende Kapitel 6.2). Orientierung: links S, rechts N.

Staufen-Höllengebirs-Decke mit den gleichen Gesteinen an der Oberfläche (Dachsteinkalk, Ramsaudolomit) liegen, wurde - für die direkte Auswertung nach Herglotz - Wiechert - bis zu dieser Entfernung die Laufzeitkurve des Profils Golling-W als Ergänzung derjenigen des Profils Lofer-N verwendet. Aus der Abbildung 2o ist ersichtlich, daß mit der so erhaltenen und für das Modell nur geringfügig geänderten v(z)-Funktion eine sehr gute Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Werten erzielt wird.

Auf dem Profil Lofer-N werden also - wie auf den Profilen Golling-W und Antoniberg-E - sehr hohe Wellengeschwindigkeiten für die Kalkalpen beobachtet. Auch für die Mächtigkeit der Kalkalpen ergibt sich etwa der gleiche Wert wie auf den anderen Profilen. Jedoch ist der für das Modell angenommene Wert wegen der begrenzten Schußpunktsentfernung in den Kalkalpen auf diesem Profil als Minimum einer tatsächlichen Mächtigkeit zu betrachten.

Bei den nördlich der Kalkalpen aufgezeichneten Seismogrammen nimmt die Qualität der Signale rasch ab und es gibt keine über mehrere Spuren korrelierbare Einsätze. Daher wurden hierfür keine differenzierteren Modelle gerechnet. Man erkennt aber schon bei dem in der Abbildung 2o gezeigten einfachen Modell in der starken Divergenz der Strahlen nördlich der Kalkalpen eine mögliche Erklärung für diese Abnahme der Energie.

6.6. Die Profile Marquartstein-N, Rohrdorf-E

Die Ergebnisse der Modellrechnung für diese Profile sind in der Abbildung 21 gemeinsam dargestellt worden, weil beide Hinweise für die Lagerungsverhältnisse der Schichten am Alpen-Nordrand (bis etwa 8 km Tiefe) im Gebiet zwischen Chiemsee und Inn geben. Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist zu beachten, daß das Profil Rohrdorf-E in erster Näherung parallel

zum Streichen der Alpen vermessen wurde; damit sind - zumindest am Alpen-Nordrand mit großen Änderungen der Lagerungsverhältnisse in N-S - Richtung - die Voraussetzungen für ein nur zweidimensionales Modell für dieses Profil sicherlich nicht überall erfüllt.

Zunächst soll geschildert werden, nach welchen speziellen Daten, die in den allgemeinen Angaben im Kapitel 5.2 nicht enthalten sind, die Modelle konstruiert wurden: Wellengeschwindigkeit und Mächtigkeit der Kalkalpen wurden nach den Auswerte-Ergebnissen für das Profil Marquartstein-S vorgegeben. Die Wellengeschwindigkeit in der Schicht aus Flysch, Helvetikum und Molasse konnte aus der Kombination zwischen Literatur-Werten und eigenen Abschätzungen für die ersten zwei Stationen des Profils Rohrdorf-E erhalten werden. Die Tiefenlage der Molasse-Basis wurde zunächst entsprechend dem für die Profile Rohrdorf-S und Kiefersfelden-N abgeleiteten Modell angesetzt. Unterhalb der Molasse-Basis wurde Material mit einer Wellengeschwindigkeit von etwa 5.9 - 6.1 km/sec (Kristallines Grundgebirge) angenommen (Angenheister et al., 1972). - Bei der Verbesserung der Modelle wurde vorwiegend die Tiefenlage der Molasse-Basis variiert; dieser Parameter hat naturgemäß den größten Einfluß auf die errechneten Laufzeiten für Reflexionen an der Molasse-Basis.

Als Ergebnis sieht man beim Profil Marquartstein-N eine gute Näherung der auf den Spuren 1-3 gemessenen Ersteinsätze. Die späteren Einsätze auf den folgenden Spuren werden ebenfalls gut genähert, und zwar durch die Laufzeiten längs Strahlen, die an der Molasse-Basis reflektiert werden. In dem Modell, für das diese gute Übereinstimmung erzielt wird, liegt die Molasse-Basis am Nordrand der Kalkalpen (S des Chiemsees) etwa 800 m höher als an der gleichen Stelle des Modells für die Profile Rohrdorf-S und Kiefersfelden-N (nahe des Inn).

Für das Profil Rohrdorf-E wurde aus den oben angeführten prinzipiellen Erwägungen heraus die Verbesserung des Modells

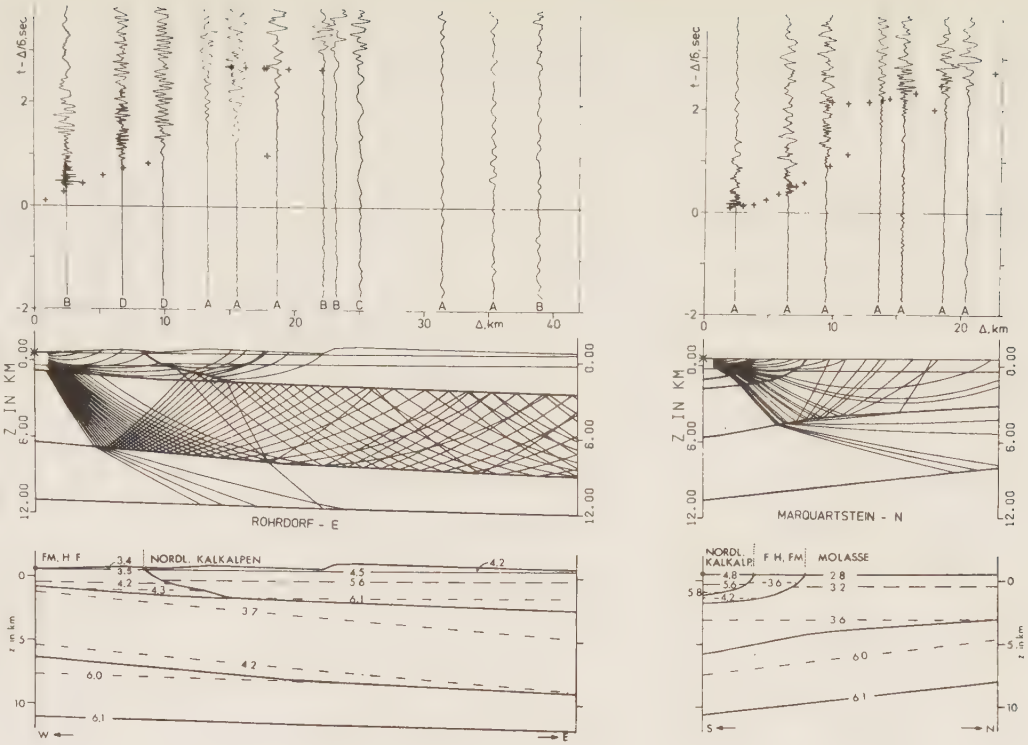


Abb.21. Seismogramm-Montagen (Ausschnitte) mit errechneten Laufzeiten (Kreuze), errechneten Strahlen und Modellen für die Profile Rohrdorf-E und Marquartstein-N (Legende Kap. 6.2). Orientierung des Profils Marquartstein-N: links S, rechts N.

nicht so weit fortgeführt wie für das Profil Marquartstein-N Dennoch werden die wichtigsten Effekte in der Seismogramm-Montage durch das gezeigte Modell zumindest qualitativ erklärt: für die ersten 3 Spuren stimmen errechnete und gemessene Laufzeiten gut überein; ebenso sieht man, daß die späteren Einsätze auf den folgenden Spuren durch Reflexionen an der Molasse-Basis erzeugt werden können. Auch die Tatsache, daß spätestens ab Δ = 3o km die beobachteten Signale erheblich schwächer werden, ließe sich analog zur Modellrechnung damit begründen, daß von einer bestimmten Entfernung an die Wellen an der Basis der Kalkalpen reflektiert werden.

Es sei noch angemerkt, daß das hier besprochene Modell für das Profil Rohrdorf-E im Anhang nochmals als Beispiel für die Ein- und Ausgabe bei der Modellrechnung in etwas größerem Maßstab gezeigt wird.

6.7. Die Profile Rohrdorf-S, Kiefersfelden-N

In der Seismogramm-Montage des Profils Rohrdorf-S (Abb. 6) sind zwischen den Schußpunkts-Entfernungen Δ = 24 km und Δ = 51 km gut korrelierte Einsätze etwa 2 - 2.5 sec nach der Zeit t = o im reduzierten Zeitmaßstab zu erkennen. Auf den anderen hier betrachteten Profilen sind ähnliche Einsätze in so deutlicher Form nicht zu beobachten, auch nicht auf dem Profil Kiefersfelden-N (Seismogramm-Montage Abb. 7), das mit dem Profil Rohrdorf-S z.T. ein Gegenschuß-Profil bildet.

Bei der Suche nach einer Erklärung für diesen Effekt muß die Lage der Schuß- und Meßpunkte berücksichtigt werden (s. Abb. 3). Bei allen anderen Profilen liegt immer mindestens einer der beiden Teile Schuß- und Meßpunkte im Kalkalpin. Beim Profil Rohrdorf-S liegt der Schußpunkt nördlich der Kalkalpen im Helvetikum; das Profil quert Flysch und Kalkalpen, die letzten 6 Meßpunkte liegen in Buntsandstein, Grauwacken und Innsbrucker Quarzphyllit. Gerade in den Seismogrammen dieser 6 Meßpunkte

südlich der Kalkalpen (und der 2 Meßpunkte am Südrand der Kalkalpen) werden die fraglichen Einsätze beobachtet. Man kann deshalb von der Vorstellung ausgehen, daß die Wellen, die diese Einsätze erzeugen, unter den Kalkalpen entlanggelaufen sind.

Für Modelle, bei denen die Wellengeschwindigkeit unterhalb der Kalkalpen etwa gleich der des kristallinen Grundgebirges ist, werden aber für das Profilstück südlich der Kalkalpen erheblich kleinere als die gemessenen Laufzeiten errechnet. Es ist daher nötig, eine Unterlagerung der Kalkalpen von einem Material geringerer Wellengeschwindigkeit anzunehmen. Solche Modelle wurden konstruiert und dabei - in Übereinstimmung mit den bisherigen Kenntnissen über den Aufbau des Untergrundes im Untersuchungsgebiet und in angrenzenden Regionen (s. Kap. 1) - für die Unterlagerung eine Wellengeschwindigkeit angenommen, die im Mittel etwa gleich der von Flysch, Helvetikum und Molasse ist. Es zeigte sich, daß mit solchen Modellen eine gute Näherung der gemessenen durch die errechneten Laufzeiten erzielt werden kann. Um das Modell mit der besten Näherung zu finden, wurde in erster Linie die Form der die Kalkalpen unterlagernden Schicht und auch ihre Wellengeschwindigkeit variiert. Bei der folgenden Beschreibung des so erhaltenen Modells wird auch erläutert, wie weit diese Parameter geändert werden können, ohne daß die Übereinstimmung sich wesentlich verschlechtert. Das Modell ist in der Abbildung 22 mit den errechneten Strahlen und den in einen Ausschnitt der Seismogramm-Montage des Profils Rohrdorf-S eingetragenen errechneten Laufzeiten dargestellt.

Die Mächtigkeit der Kalkalpen wurde in diesem Modell nach den Auswerte-Ergebnissen der übrigen Profile zu etwa 3.1 km angenommen. Das Kalkalpin wird längs des Profils Rohrdorf-S von der Allgäu- und der Lechtal-Decke gebildet; deshalb wurde zunächst die v(z)-Funktion des Profils Marquartstein-S, das mit seinem Anfangsteil in den gleichen tektonischen Einheiten liegt, verwendet (s.Kap. 6.4). Demgegenüber mußten hier jedoch höhere Geschwindigkeiten angenommen werden, um die bis etwa Δ = 12 km auf dem Profil Rohrdorf-S und die auf den ersten Spu-

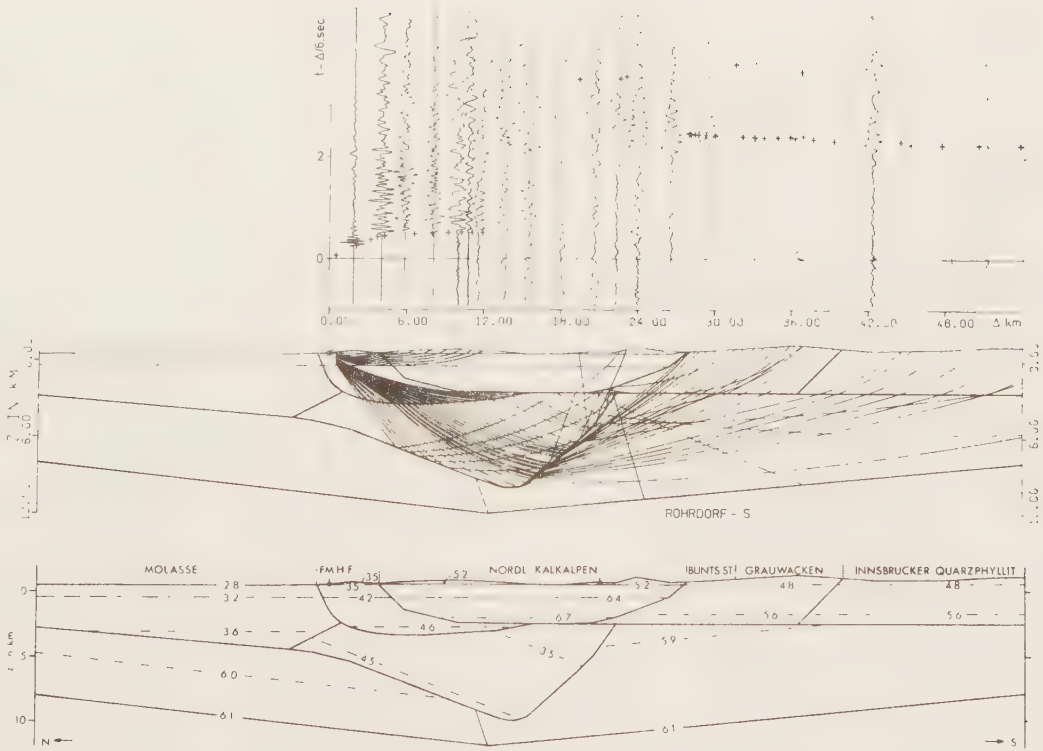


Abb.22. Seismogramm-Montage (Ausschnitt) mit errechneten Laufzeiten (Kreuze) und Laufwegen für das Profil Rohrdorf-S (oben, mitte). Unten: gemeinsames Modell für die Profile Rohrdorf-S und Kiefersfelden-N (Legende Kap. 6.2).

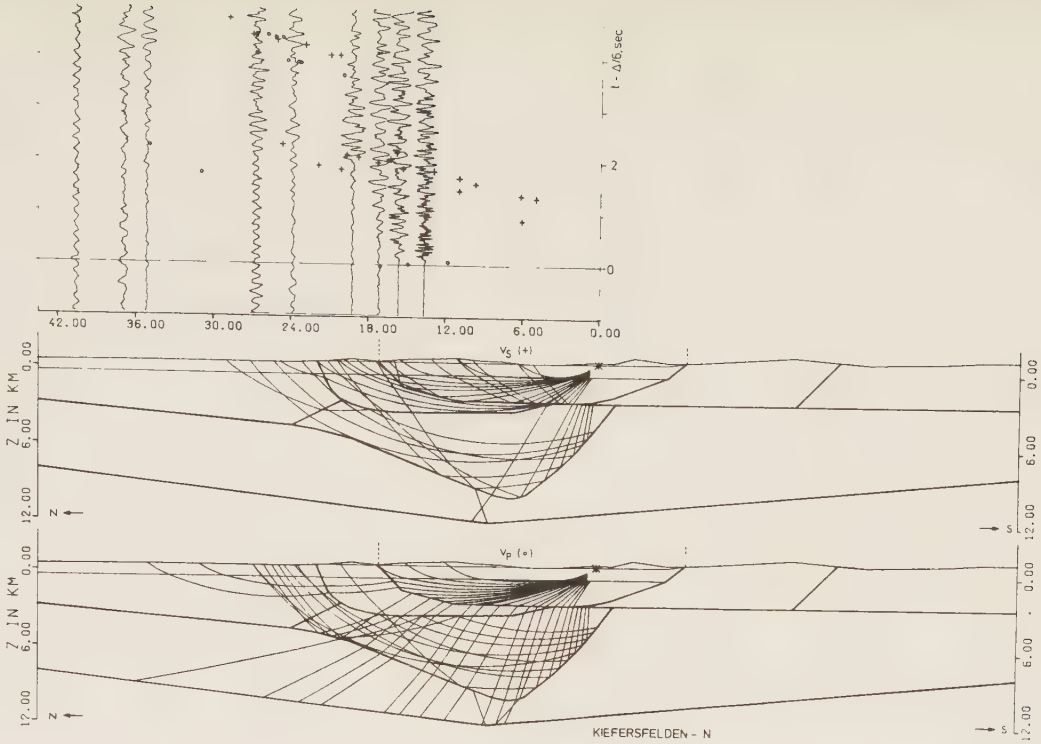


Abb.23. Profil Kiefersfelden-N. Oben: Seismogramm-Montage (Ausschnitt) mit errechneten Laufzeiten. Unten: Laufwege für ein Modell wie in Abb. 22 (Laufzeiten Kreise). Mitte: Laufwege für sonst gleiches Modell, jedoch mit Geschwindigkeit der Transversalwelle in den Kalkalpen (Laufzeiten Kreuze).

ren des Profils Kiefersfelden-N (s.u.) gemessenen Ersteinsätze befriedigend zu nähern.

Südlich der Kalkalpen wurden Buntsandstein und Grauwacken zu einer Schicht zusammengefaßt, entsprechend der Zusammenfassung von Werfener Schichten und Grauwacken im Modell für die Profile St. Johann i.P. - N und Gartenau-S (s.Kap. 6.3). In Anlehnung an dieses Modell wurde auch die Mächtigkeit und die Geschwindigkeits-Verteilung gewählt, letztere jedoch vereinfacht zu nur einer Schicht mit konstantem Gradienten. Für den Innsbrucker Quarzphyllit wurde die gleiche Geschwindigkeits-Verteilung eingesetzt, weil die zunächst angenommenen etwas größeren Geschwindigkeiten durch die Modellrechnung nicht klar bestätigt wurden. Ebenso liegt seine untere Begrenzung im Modell in gleicher Tiefe wie diejenige von Buntsandstein und Grauwacken. Diese Schichtgrenzen wurden so schematisch und einfach vorgegeben, weil ihre genaue Lage und Form kaum Einfluß auf die berrechneten Strahlen und Laufzeiten hat: in dieser Tiefe sind die Unterschiede zwischen der Geschwindigkeit über der Schichtgrenze und derjenigen des darunter folgenden kristallinen Grundgebirges relativ gering.

Für dieses kristalline Grundgebirge, das die unterste Schicht des Modells bildet, wurden Lage und Geschwindigkeits-Verteilung etwa nach Angenheister et al. (1972) vorgegeben. Nach den dort gemachten Angeben nimmt die Wellengeschwindigkeit unterhalb der Linie mit dem Wert 6.1 km/sec mit zunehmender Tiefe ab. Seismische Wellen, die in diese Inversions-Zone eintauchen, können erst in größeren als den auf den Profilen Rohrdorf-S und Kiefersfelden-N gemessenen Schußpunkts-Entfernungen wieder die Erdoberfläche erreichen (s.Kap.6.8). Daher wird die obere Grenze der Inversions-Zone hier als untere Grenze des Modells angenommen.

Für die Schicht aus Flysch, Helvetikum und Faltenmolasse und die nördlich sich anschließende Schicht der ungefaltenen Molasse wurden Geschwindigkeits-Verteilung und Begrenzung nach Literatur - Werten (s.Kap. 5.2) zusammengestellt. Für Flysch,

Helvetikum und Faltenmolasse konnten dabei eigene Abschätzungen aus den ersten Stationen der beiden Profile Rohrdorf-S und Rohrdorf-E mitverwendet werden.

Es bleibt nun noch die hier kurz "Unterlagerung" genannte Schicht unter den Kalkalpen zu beschreiben. Im gezeigten Modell liegt die Wellengeschwindigkeit in dem durch Strahlen belegten Teil der Unterlagerung zwischen 3.5 und 4.5 km/sec . (Hier sind natürlich nur die für das Modell "relevanten" Strahlen gemeint, für die die errechnete Laufzeit mit der am Auftauchpunkt gemessenen etwa übereinstimmt). Das gleiche Modell wurde auch mit anderen Geschwindigkeits-Verteilungen in der Unterlagerung (d.h. andere Richtung, anderer Betrag des Gradienten, andere Grenzwerte der Geschwindigkeit) gerechnet. Bei Abweichungen der mittleren Geschwindigkeit bis zu ±o.2 km/sec änderte sich dabei die Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Laufzeiten nicht wesentlich. Ebenso könnten statt der gezeigten scharfen Begrenzungen der Unterlagerung Übergangszonen eingefügt werden, ohne daß sich die Übereinstimmung wesentlich änderte. (Letzteres gilt auch für andere Schichtgrenzen und andere Modelle. Solche Übergangszonen machen aber den Modellaufbau komplizierter und unübersichtlicher, so daß statt dessen - in dem Bemühen um einfache Modelle, wie in Kapitel 5.2 erläutert - einfachen Schichtgrenzen der Vorzug gegeben wird).

Für das gezeigte Modell stimmen die errechneten und die gemessenen Laufzeiten bis etwa Δ = 12 km und ab etwa Δ = 3o km gut überein. Für den Entfernungsbereich der beiden Spuren am Südrand der Kalkalpen werden jedoch keine Strahlen errechnet, und im Buntsandstein ist die errechnete Laufzeit im Vergleich zur gemessenen zu groß. Hier müßten die Wellenstrahlen aus geringerer Tiefe der Unterlagerung durch eine etwas flachere Neigung des oberen Teils der südlichen Begrenzung der Unterlagerung steiler nach oben und damit durch das Kalkalpin bzw. durch den Buntsandstein (mit möglicherweise höherer Wellengeschwindigkeit als die der Grauwacken) geführt werden. Die zu-

gehörigen Laufzeiten wären dadurch relativ kleiner (d.h. die errechnete Laufzeitkurve würde hier - wie die gemessene - ein relatives Minimum aufweisen).

Von solchen möglichen Detail-Variationen bleiben aber die wesentlichen Eigenschaften des gezeigten Modells, die eine Erklärung der speziellen Einsätze auf dem Profil Rohrdorf-S ermöglichen, unberührt: die Kalkalpen sind bis etwa 15 km von ihrem Nordrand nach S von einer maximal 7 km mächtigen Schicht unterlagert, die nach ihrer Wellengeschwindigkeit als aus Molasse und /oder Helvetikum und /oder Flysch bestehend interpretiert werden kann; diese Schicht hat eine steil stehende südliche Begrenzung, ihre Mächtigkeit nimmt also im Süden rasch ab.

Dieses Modell wird auch noch durch die Messungen auf dem Profil Kiefersfelden-N kontrolliert. Die Meßpunkte dieses Profils liegen auf dem Nordteil und in der nördlichen Verlängerung des Profils Rohrdorf-S. Der Schußpunkt bei Kiefersfelden liegt W des Inn in etwa 5 km Abstand zum letzteren Profil. In der Abbildung 23, unten, sind die Strahlen für diesen Schußpunkt für das in der Abbildung 22 gezeigte Modell dargestellt. Die zugehörigen Laufzeiten sind in dem Ausschnitt der Seismogramm-Montage des Profils Kiefersfelden-N (Abb. 23, oben) als Kreise eingezeichnet. Man erkennt zunächst eine befriedigende Übereinstimmung mit den auf den ersten beiden Spuren, die noch im Kalkalpin liegen, gemessenen Ersteinsätzen. (An der Spur 2 ist der Ersteinsatz nur schwach ausgeprägt). Außerdem sieht man im Entfernungsbereich $\Delta = 2o$ bis $\Delta = 27$ km zwischen 3.5 und 4.5 sec nach der Zeit $t = o$ (im reduzierten Zeitmaßstab) Einsätze, die für Wellen errechnet wurden, die an der südlichen Flanke der Unterlagerung reflektiert wurden und dann direkt oder nach weiteren Reflexionen an den Grenzen der Unterlagerung die Erdoberfläche erreichen. Tatsächlich erkennt man mindestens an 2 der 3 Seismogramme aus dem betreffenden Entfernungsbereich eine Amplituden-Erhöhung im gleichen Zeitbereich. Eine mindestens ebenso starke Amplituden-Erhöhung im Zeitbereich

1.8 bis 3 sec nach der reduzierten Nullzeit, die zwischen Δ = 14 und Δ = 27 km über mehrere Spuren zu verfolgen ist, wird dagegen nicht erklärt.

Deshalb wurde eine weitere Rechnung für ein gleich strukturiertes Modell durchgeführt; für die Kalkalpen wurde dabei die Geschwindigkeit der Transversal- (S-) Welle v_s angenommen (berechnet mit $v_p/v_s = \sqrt{3}$); alle anderen Schichten behielten unverändert die Geschwindigkeit der Longitudinal- (P-) Welle v_p. Die Strahlen sind in der Mitte der Abbildung 23 dargestellt, die Laufzeiten als Kreuze in den Ausschnitt der Seismogramm-Montage eingetragen. Man sieht, daß damit auch die vorher nicht erklärten Amplituden-Erhöhungen bzw. Einsätze z.T. gut genähert werden. Im einzelnen kann man direkte, in den Kalkalpen gelaufene S-Wellen, sowie an der Basis der Kalkalpen reflektierte S-Wellen und S-P Wechselwellen, von denen ein Teil wieder an der Grenze der Unterlagerung reflektiert wird, unterscheiden.

Mit dem in der Abbildung 22 gezeigten Modell können also auch die Meßwerte des Profils Kiefersfelden-N im wesentlichen befriedigt werden. - Es wurden noch weitere Rechnungen mit diesem Modell durchgeführt. Darüber wird im Kapitel 7 berichtet; hier sei aber schon vermerkt, daß auch diese Rechnungen keine Einwände gegen das Modell erbrachten.

6.8. Die Profile Golling-W, Eschenlohe-E

Das Profil Golling-W ist das einzige der in dieser Arbeit vorgestellten Profile, bei dem in größeren Schußpunkts - Entfernungen (Δ > 7o km) verwendbare Seismogramme registriert werden konnten. In der Seismogramm-Montage dieses Profils (Abb. 1o) lassen sich zwei Laufzeitkurven-Äste korrelieren: bis maximal Δ = 4o km ein a - Ast und etwa zwischen Δ = 85 km und Δ = 16o km ein c- oder P_MP - Ast (s.auch Kap. 3). Die aus dem a - Ast für das betreffende Gebiet der Kalkalpen abgeleitete

Geschwindigkeits-Tiefen-Funktion ist in der Abbildung 16 dargestellt und im Kapitel 6.1 erläutert. Hier seien noch einige Einzelheiten der Auswertung nachgetragen.

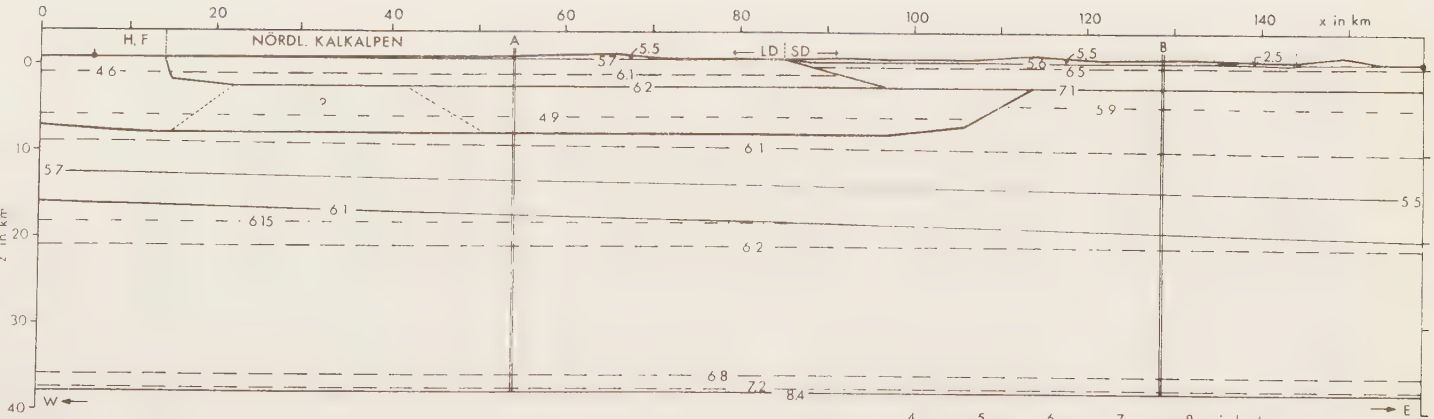
So erkennt man z.B. in der Seismogramm-Montage an den Spuren 7 -9 eine deutliche relative Verzögerung der Ersteinsätze gegenüber den benachbarten Spuren. Im Bereich dieser Spuren (Tal der Ramsau SW Berchtesgaden bis zum Ort Ramsau) wurde deshalb eine im Mittel etwa 3oo m mächtige Schicht an der Oberfläche mit einer Wellengeschwindigkeit von 2.5 km/sec angenommen. Mit einem solchen Modell (s. Abb. 24, hier -SD- der Kalkalpen) konnte der gemessene a-Ast gut angenähert werden (s. Abb. 25 - Profil gegenüber Abb. 1o gedreht !). Obwohl das betreffende Gebiet stellenweise von Moränenschutt bedeckt ist, kann diese Schicht wohl nicht in gesamter Mächtigkeit aus solchem Material bestehen. Nach den geologischen Verhältnissen könnte hier aber als weiteres Material geringer Wellengeschwindigkeit z.B. Haselgebirge angenommen werden.

Der errechnete a - Ast reicht bis etwa Δ = 25 km. In der Montage sind aber auch auf den 3 Seismogrammen zwischen Δ = 25 km und Δ = 38 km noch Einsätze zu erkennen, allerdings mit abnehmender Scheingeschwindigkeit. Daß auch die Amplitude der Signale stark abnimmt, ist nicht ohne weiteres sichtbar. Hier muß die Verstärkung bei der Aufnahme und bei der Abspielung berücksichtigt werden, vor allem aber muß der Einfluß der verschiedenen Schüsse ausgeglichen werden, z.B. mit einem "Eichfaktor", der aus benachbarten, bei diesen verschiedenen Schüssen registrierten Seismogrammen auf dem c - Ast abgeleitet wird. Führt man dies für die fraglichen Seismogramme durch, so zeigt sich, daß die "normierte" Amplitude z.B. von der Spur bei Δ = 24.5 km zur folgenden um einen Faktor der Größenordnung 1o und zur Spur bei Δ = 37.3 km um einen Faktor der Größenordnung 3o abnimmt. Daher wird angenommen, daß die Signale auf diesen 3 Seismogrammen durch Beugung erzeugt werden. Für diese Annahme sprechen auch die Messungen auf dem Profil Lofer-N, welches das Profil Golling-W etwa bei Δ = 32 km kreuzt. Würde nämlich die Verzögerung auf dem Profil Golling-W zwischen

Δ = 25 km und Δ = 38 km durch Material geringerer Wellengeschwindigkeit in diesem Bereich erzeugt werden (wobei aus dem Betrag der Verzögerung abzuschätzen ist, daß dieses Material z.B. bei einer gegenüber der des Kalkalpin um 2.5 km/sec geringeren Geschwindigkeit eine Ausdehnung von etwa 3 km hätte), so müßte dies auch zu einer Verzögerung in der auf dem Profil Lofer-N gemessenen Laufzeitkurve führen. Eine solche Verzögerung ist dort aber nicht zu beobachten (s.Kap.6.5).

Bei der Auswertung des P_MP-Astes des Profils Golling-W wurde von dem im Rahmen eines anderen Forschungs-Programmes vermessenen Profil Eschenlohe-E der Teil vom Schußpunkt bis Golling mitverwendet (s. Abb. 2). Bei beiden Profilen sind in den P_MP-Kurven Versätze zu erkennen, z.B. bei Golling-W etwa bei Δ = 125 km und bei Eschenlohe-E etwa bei Δ = 115 km. Solche und andere Unregelmäßigkeiten der P_MP-Kurven können durch eine spezielle Struktur der Übergangszone Kruste - Mantel ("Moho-Zone") erklärt werden. So wurde z.B. aus der Betrachtung unterkritischer und Weitwinkel - Reflexionen ein lamellenartiger Aufbau der Moho-Zone abgeleitet (Meißner 1967, Fuchs 197o). Da die Dicke der einzelnen Lamellen kleiner ist als die Wellenlänge der P_MP-Wellen, kann hier die Strahlentheorie nicht angewendet werden. Giese (1972) leitet für einige vom Steinbruch Eschenlohe aus vermessene Profile (darunter auch das E-Profil) mit strahlengeometrischen Methoden v(z)-Funktionen ab, bei denen die Moho-Zone aus bis zu 5 Schichten (im Mittel je etwa 2 km mächtig) mit abwechselnd zunehmender Geschwindigkeit und Geschwindigkeits-Inversion besteht. Dagegen soll in dieser Arbeit anhand der Profile Golling-W und Eschenlohe-E gezeigt werden, daß nicht alle Unregelmäßigkeiten der P_MP-Kurven auf solche Detail-Strukturen der Moho-Zone zurückgeführt werden müssen, sondern daß einige Effekte auch durch laterale Variationen im Aufbau der Kruste erklärt werden können. Das unter diesem Gesichtspunkt abgeleitete Modell ist in der Abbildung 24 dargestellt.

Dieses Modell stimmt unterhalb der Kalkalpen im E (etwa



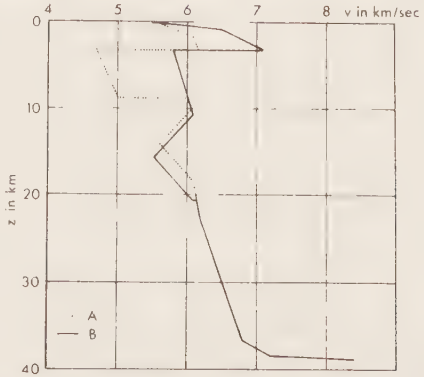


Abb.24. O b e n: Modell für die Profile Golling-W und Eschenlohe-E. Allgemeine Legende s. Kap. 6.2, Abweichung: längs der Linie mit einer mittleren Tiefe von etwa 14 km nimmt die Geschwindigkeit von 5.7 km/sec im W auf 5.5 km/sec im E ab. In dem mit einem Fragezeichen versehenen Gebiet zwischen den gestrichelten Linien fehlt möglicherweise die Schicht geringerer Geschwindigkeit unter dem Kalk. R e c h t s: Geschwindigkeits-Tiefen-Funktionen an den Stellen A und B des oben gezeigten Modells.

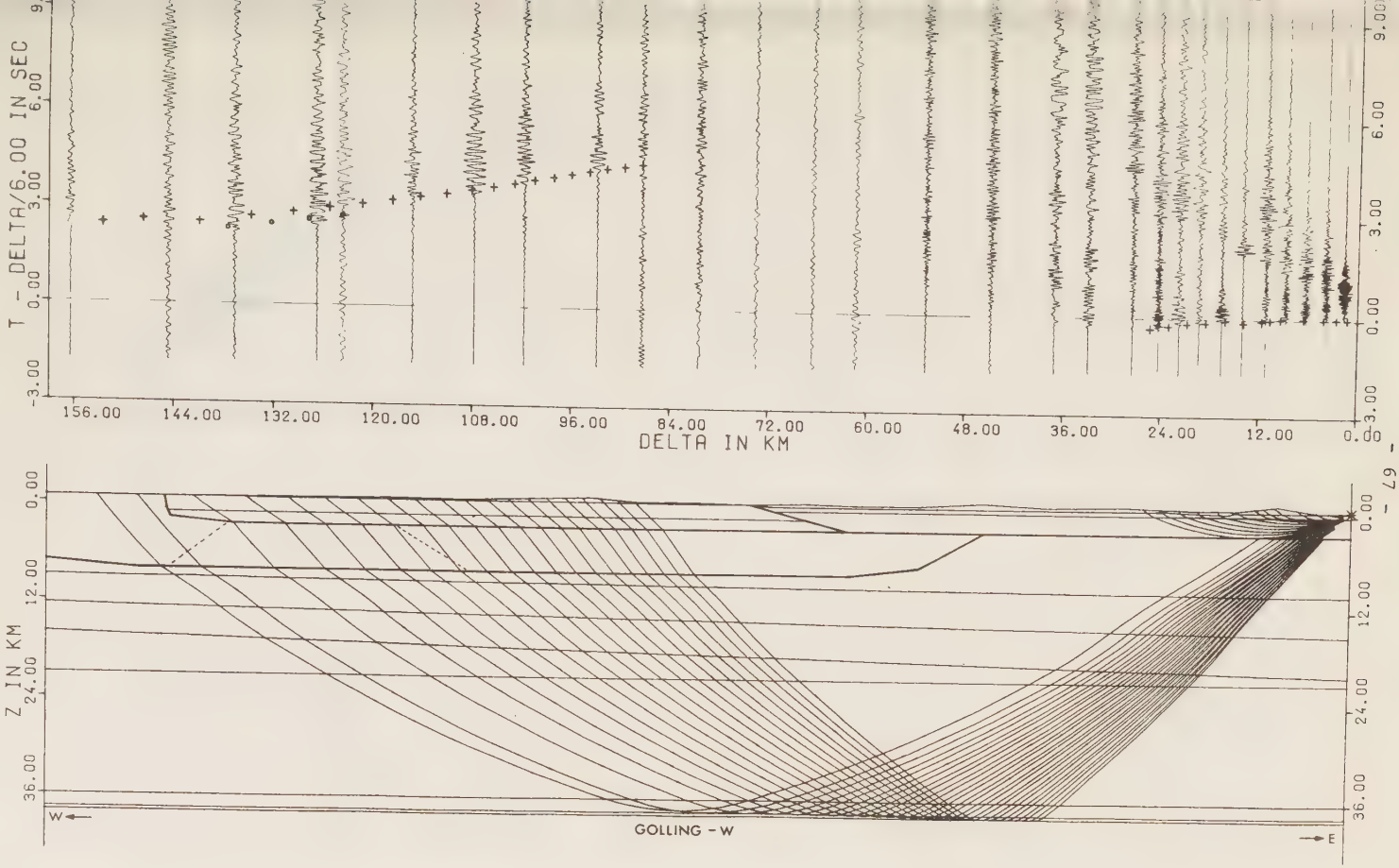
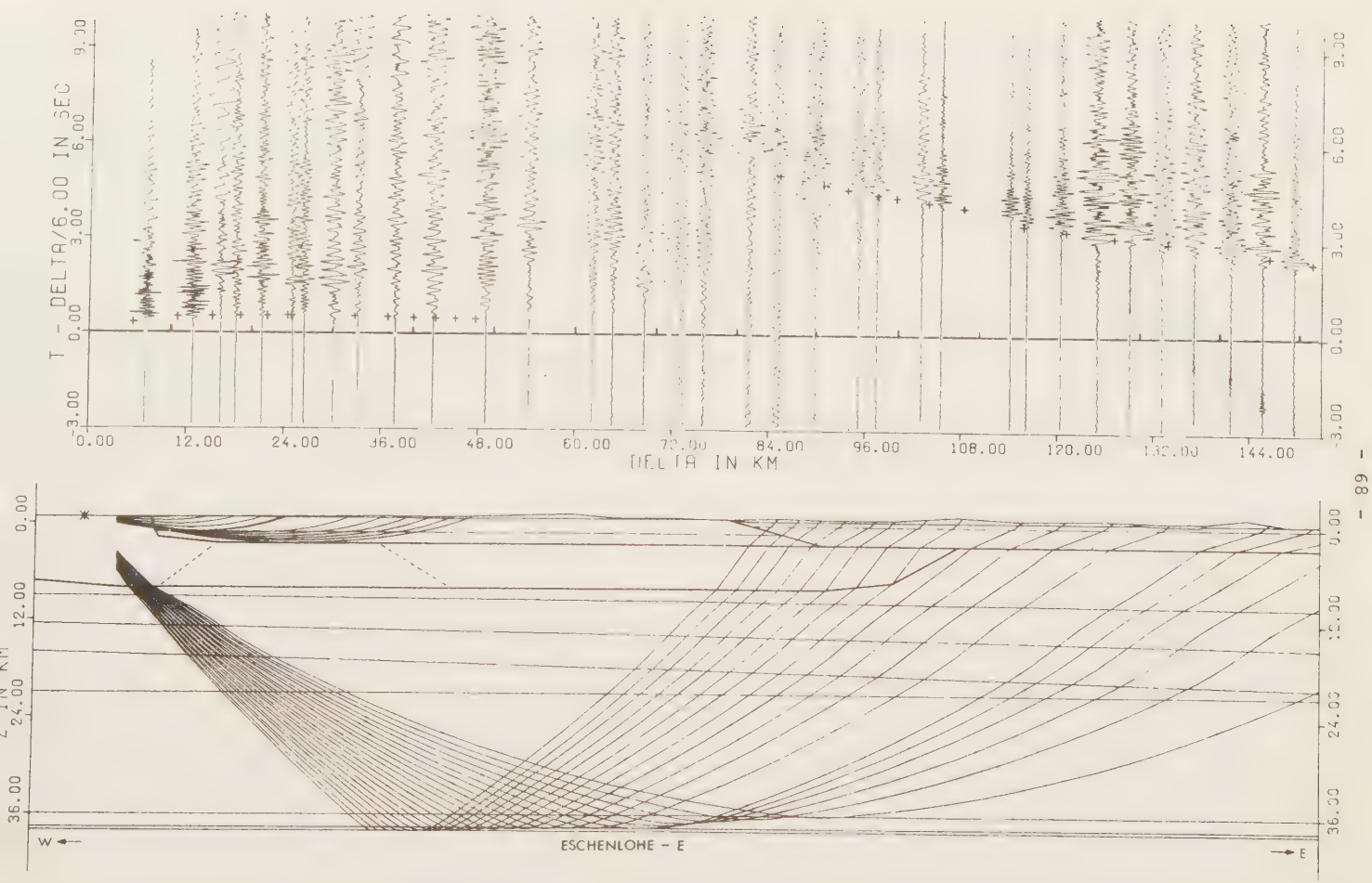


Abb.25. Profil Golling-W: Seismogramm-Montage mit errechneten Laufzeiten und Strahlen für das Modell der Abb.24



b.26. Profil Eschenlohe-E: Seismogramm-Montage mit errechneten Laufzeiten und Strahlen für das Modell

für x > 115 km) und unterhalb der Tiefe z etwa gleich 8 km im W im wesentlichen mit einer Geschwindigkeits-Verteilung überein, wie sie aus den bei Angenheister et al. (1972) gezeigten 2 Profilschnitten abzuleiten ist (s.auch Kap. 1 mit Abb. 1). Nur für die Moho-Zone mußte im Zuge der Modell-Verbesserung ein etwas größerer Gradient angenommen werden. Dieser Teil des Modells wird deshalb im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht näher diskutiert, sondern es werden hier vor allem die Strukturen in der obersten Kruste betrachtet:

Die Kalkalpen werden in dem gezeigten Modell in 2 Bereiche mit verschiedener Geschwindigkeits-Verteilung untergliedert. Für die Staufen - Höllengebirgs-Decke im E (in der Abb. 24 mit "SD" gekennzeichnet) gilt die aus dem a - Ast des Profils Golling-W abgeleitete v(z)-Funktion (s.o.). Für die Allgäu- und die Lechtal-Decke im W (zusammengefaßt, "LD" in der Abb. 24) ist die Geschwindigkeit insgesamt etwas geringer, in Übereinstimmung mit den Auswerte-Ergebnissen für die Profile Rohrdorf-S, Kiefersfelden-N und Marquartstein-S. Mit einem relativ geringen Gradienten der Geschwindigkeit im unteren Teil dieses Abschnittes der Kalkalpen wurden hier die bis etwa Δ = 5o km korrelierbaren Ersteinsätze (a - Ast) des Profils Eschenlohe-E mit wenig zunehmender Scheingeschwindigkeit genähert (s.Abb. 26). Außerdem ist hier, gegenüber v(z)-Funktionen, die mit dem Herglotz-Wiechert-Verfahren als Mittelwert für das gesamte Profil abgeleitet wurden (z.B. Zschau und Koschyk, 1972), die Geschwindigkeit nahe der Oberfläche größer, weil im Modell die geringere Geschwindigkeit in der Umgebung des Schußpunktes (Helvetikum, Flysch) getrennt berücksichtigt wird. Unterhalb der Kalkalpen erkennt man eine Schicht geringerer Wellengeschwindigkeit ("Unterlagerung") von etwa 5.5 km Mächtigkeit, die im E etwa bei x = 115 km des Modells auskeilt und im W in die dort anstehenden Formationen Flysch und Helvetikum übergeht.

Die in dem somit beschriebenen Modell errechneten Strahlen sind für das Profil Golling-W in der Abbildung 25 und für

das Profil Eschenlohe-E in der Abbildung 26, jeweils unten, dargestellt. In den gleichen Abbildungen, oben, sind die zugehörigen Laufzeiten als Kreuze in die Seismogramm-Montagen der beiden Profile eingetragen. Auf die a - Äste wurde zuvor bereits eingegangen, hier seien nun die für die P_MP-Kurven erzielten Ergebnisse erläutert:

Beim Profil Golling-W stimmen die errechneten und die gemessenen Laufzeiten auf dem P_MP-Ast größtenteils gut überein. Nur im Entfernungsbereich 125 km < Δ < 14o km sind die beobachteten Einsätze gegenüber den errechneten verfrüht. Diese Verfrühung könnte mit einer Aufwölbung der Basis der Unterlagerung erklärt werden, wie sie im Modell gestrichelt angedeutet ist. Gilt in dieser Aufwölbung die gleiche Geschwindigkeits-Verteilung wie E der Unterlagerung, so werden die als kleine Kreise in der Abbildung 25 dargestellten Laufzeiten errechnet. Man sieht, daß mit dieser Modellvariante die gemessene P_MP-Kurve besser genähert wird. Dennoch wurde die Aufwölbung in der Abbildung mit einem Fragezeichen versehen, weil - abgesehen von den oben angesprochenen anderen Interpretations-Möglichkeiten für die P_MP-Kurven - über den betreffenden Bereich keine Informationen anderer Profile vorliegen.

Beim Profil Eschenlohe-E kann der oben erwähnte Versatz in der P_MP-Kurve gut mit einem Auskeilen der Unterlagerung etwa bei Δ = 11o km erklärt werden. Die Abbildung 26 zeigt für den betreffenden Bereich der gemessenen P_MP-Kurve eine gute Näherung durch die errechneten Laufzeiten. Etwa für Δ > 12o km sind die errechneten Laufzeiten etwas größer als die gemessenen; für kleinere Entfernungen stimmen die errechneten Laufzeiten dagegen gut mit Korrelationen für die P_MP-Einsätze überein, wie sie z.B. Zschau und Koschyk (1972) angeben. Insgesamt werden also auch die Messungen auf dem hier verwendeten Abschnitt des Profils Eschenlohe-E mit dem gezeigten Modell befriedigt.

Somit läßt sich aus der Auswertung der Profile Golling-W

und Eschenlohe-E unter den oben gemachten Annahmen eine Unterlagerung der Kalkalpen von Material geringerer Wellengeschwindigkeit ableiten; nach der Größenordnung der Geschwindigkeit kann als Material dieser Schicht Flysch und/oder Helvetikum und/oder Molasse angenommen werden. Da die Profile ungefähr E-W gerichtet sind, gibt ihre Lage in dem Bereich etwa zwischen Eschenlohe und Reit im Winkl, für den im Modell die Unterlagerung vorhanden ist, die minimale Erstreckung dieser Unterlagerung nach S an. Das im Modell gezeigte Auskeilen der Unterlagerung (E von Reit im Winkl) kann auch als eine ungefähr südliche Begrenzung der Unterlagerung interpretiert werden, weil das Profil Eschenlohe-E, aus dem der Ort des Auskeilens bestimmt wurde, hier gerade nach SE abknickt und nach ca. 15 km mit ca. 1o km südlichem Versatz weitergeführt wird (wie es für das Profil Golling-W in der Abbildung 3 gezeigt ist). Die Annahme einer steilen südlichen Begrenzung der Unterlagerung auf Höhe von Reit im Winkl läßt sich gut mit dem bereits erwähnten Modell, das aus magnetotellurischen Messungen abgeleitet wurde (Kemmerle, 1973), vereinbaren. In gleicher Weise stimmt der (minimale) Betrag der südlichen Erstreckung der Unterlagerung etwa am Inn mit dem im vorhergehenden Kapitel vorgestellten Modell für die Profile Rohrdorf-S und Kiefersfelden-N überein.

7. BEMERKUNGEN ZUR ANWENDUNG DER MODELLRECHNUNG

Wie die überwiegende Mehrzahl der bisher bekannten Auswerte-Verfahren für refraktions-seismische Messungen arbeitet auch die in dieser Arbeit vorgestellte Methode zweidimensionaler Modellrechnung auf der Grundlage der Strahlengeometrie und ist damit den gleichen prinzipiellen Einschränkungen unterworfen. Eine optimale Interpretation der Meßdaten müßte außer den Laufzeiten auch die Amplituden bzw. die Form der seismischen Signale berücksichtigen. Eine solche Auswertung ist aber z.Z. nicht möglich und wäre bei dem gezeigten Meßmaterial wegen der verschiedenen Schüsse mit unterschiedlicher Gesamtladung, unterschiedlicher Ladung pro Zündstufe und unterschiedlicher Zahl der Zündstufen auch besonders schwierig. Die Strahlentheorie gibt zwar nur eine Näherung für die wahre Wellen- bzw. Energieausbreitung im Untergrund, sie hat sich aber nach den bisherigen Erfahrungen als brauchbar erwiesen und etliche Informationen über den Aufbau des Untergrundes geliefert. Somit erscheint die Anwendung der zweidimensionalen Modellrechnung, die einen größeren Nährungsgrad innerhalb dieses Rahmens darstellt, gerechtfertigt. Dabei muß, wie bereits im Kapitel 5.2 ausführlich erläutert wurde, die Vielzahl der möglichen Modelle durch schon bekannte Randbedingungen eingeschränkt werden. Zu diesen Randbedingungen gehört auch die Geologie der Oberfläche und die Zuordnung bestimmter Bereiche der Geschwindigkeit seismischer Wellen zu verschiedenen geologischen Einheiten. Daher umfassen die in den vorausgegangenen Kapiteln gegebenen Darstellungen und Beschreibungen der Modelle zugleich auch eine geologische Interpretation.

Außer bei der Auswertung sind noch weitere Anwendungen der Modellrechnung möglich, z.B. zur Planung von Profilen. Bei den in dieser Arbeit beschriebenen Messungen war die Lage der Schußpunkte durch die Auswahl geeigneter Steinbrüche weitgehend vorgegeben, und erst im Laufe der Messungen und der Auswertung wurde deutlich, bei welcher Anordnung der Schuß- und Meßpunkte Informationen über die Unterlagerung der Kalkalpen erhalten

werden konnten. Dagegen kann jetzt mit Hilfe der Modellrechnung die für eine bestimmte Modellvorstellung günstigste Lage von Schuß- und Meßpunkten ermittelt und bei der Planung der Messungen berücksichtigt werden. Dies wird hier anhand des für die Profile Rohrdorf-S und Kiefersfelden-N abgeleiteten Modells demonstriert. In den Abbildungen 27 - 32 werden die mit diesem Modell errechneten Strahlen und Laufzeiten für die Schußpunkte bei Rohrdorf und bei Kiefersfelden selbst und für 4 weitere Schußpunkte gezeigt. Man sieht, daß bei einem solchen Modell klar korrelierbare Einsätze, erzeugt von Wellen, die z.T. in der Unterlagerung der Kalkalpen gelaufen sind, nur auf einem Profil von Schuß B nach Süden (also entsprechend dem Profil Rohrdorf-S) zu erwarten sind (Abb. 28). Bei den Schüssen D,E,F (Abb. 3o, 31, 32) wären solche Einsätze zwar auch vorhanden, aber weniger klar korrelierbar und nur auf einem kleineren Teil des Profils. (In der Abbildung 3o ist zusätzlich der Sonderfall für das Profil Kiefersfelden-N mit der Geschwindigkeit der Transversalwelle im Kalkalpin dargestellt; er kann nicht zu einem Vergleich mit den anderen Schußpunkten verwendet werden). Bei den Schüssen A und C schließlich sind solche Einsätze in deutlicher Form kaum zu erwarten (Abb. 27, 29).

Würde man also einen Aufbau des Untergrundes etwa von der in diesem Beispiel gezeigten Form erwarten und Informationen über die Unterlagerung suchen, so wäre hierfür ein Schußpunkt nördlich der Kalkalpen in nicht zu großem Abstand von ihnen mit Meßpunkten südlich der Kalkalpen am besten geeignet. - Dieses Beispiel gilt für kurze Profile; wie die Auswertung der Profile Golling-W und Eschenlohe-E zeigt, können auch Messungen von entfernteren Schußpunkten aus auf dem P_MP - Ast solche Informationen liefern, allerdings unter einigen Vorbehalten (s. Kap. 6.8). -

Am Schluß des Kapitels 6.7 wurde angedeutet, daß die hier gezeigten Modellrechnungen keine Einwände gegen das verwendete Modell ergeben; dies sei hier kurz erläutert:

Der Abstand des Schußpunktes C vom Kalkalpen-Nordrand ist

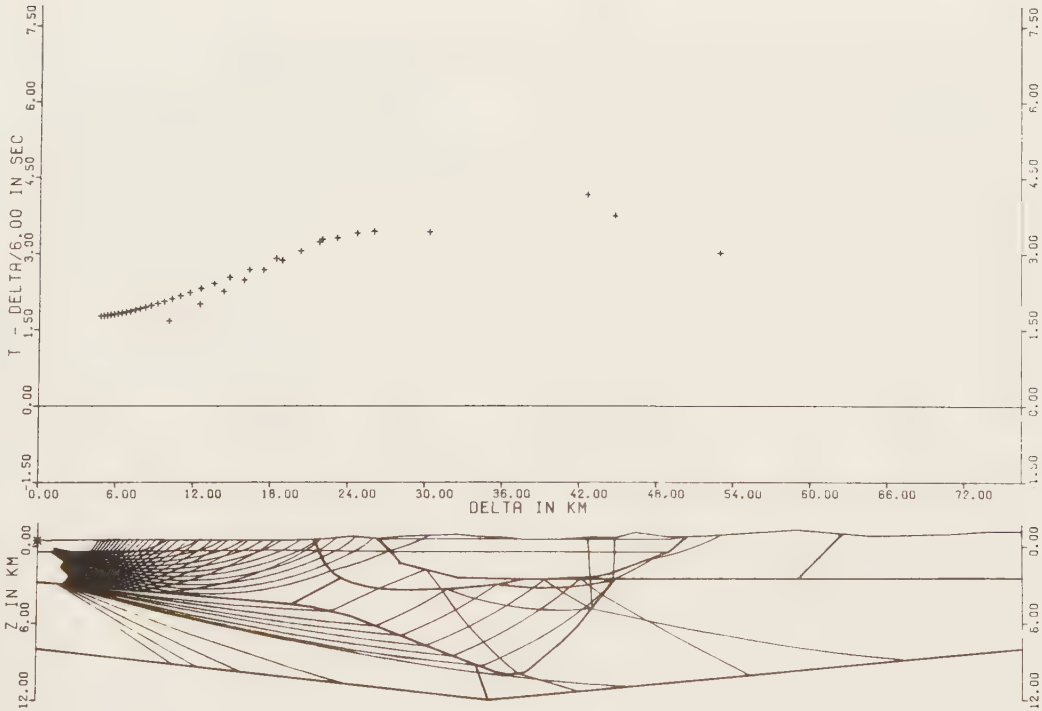


Abb.27. Schußpunkt A: Errechnete Strahlen und Laufzeiten für das in der Abb. 28 gezeigte Modell.

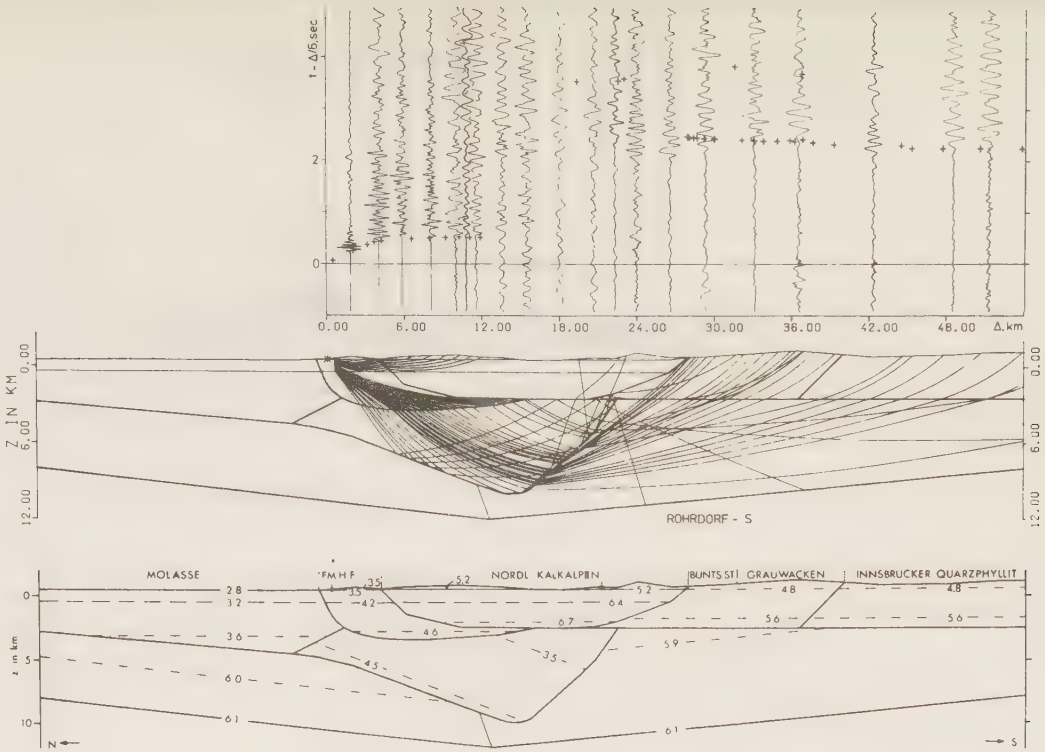


Abb.28. Schußpunkt B (Entspricht Rohrdorf-S): Seismogramm-Montage (Ausschnitt) mit errechneten Laufzeiten und Strahlen (oben, mitte). Unten: gemeinsames Modell für die Schußpunkte A-F (Legende Kap. 6.2).

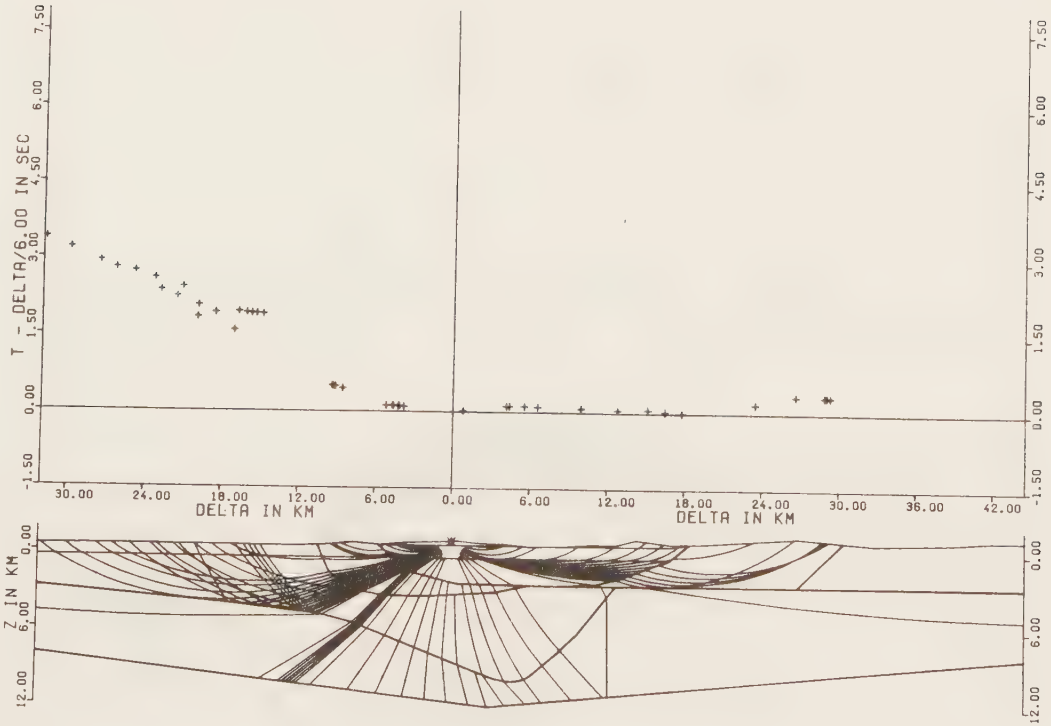


Abb.29. Schußpunkt C: Errechnete Strahlen und Laufzeiten für das in der Abb. 28 gezeigte Modell.

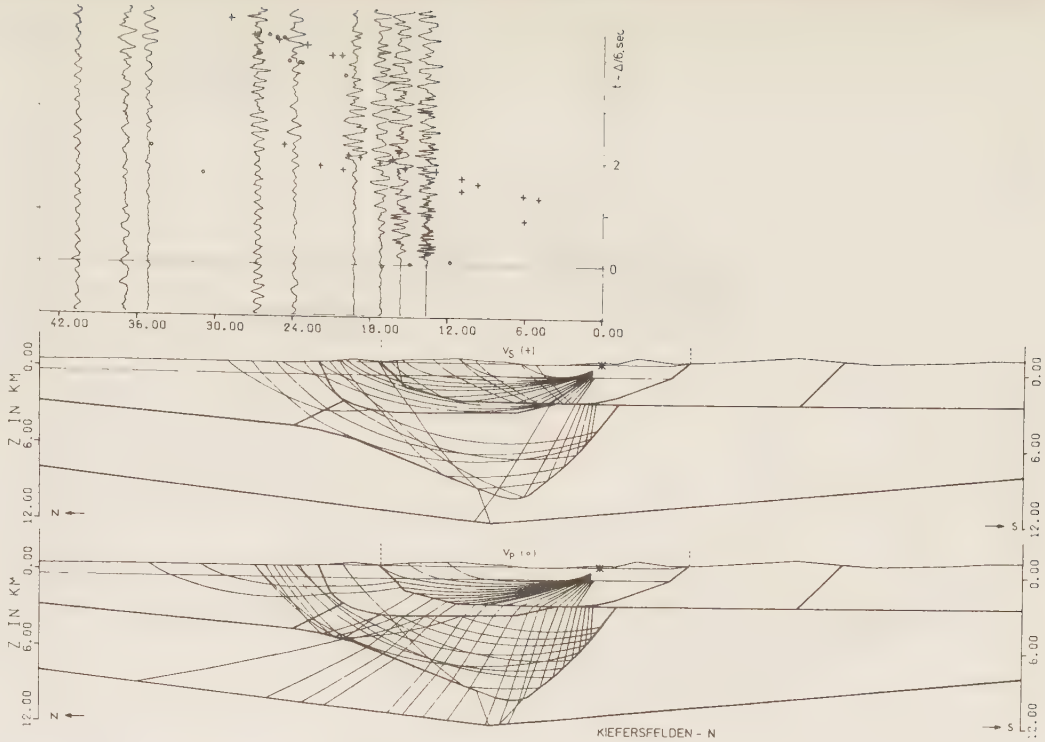


Abb.30. Schußpunkt D (Entspricht Kiefersfelden-N): Oben: Seismogramm-Montage (Ausschnitt) mit errechneten Laufzeiten. Unten: Strahlen für ein Modell wie in Abb. 28 (Laufzeiten Kreise). Mitte: Laufwege für sonst gleiches Modell, jedoch mit Geschwindigkeit der Transversalwelle im Kalkalpin (Laufzeiten Kreuze).

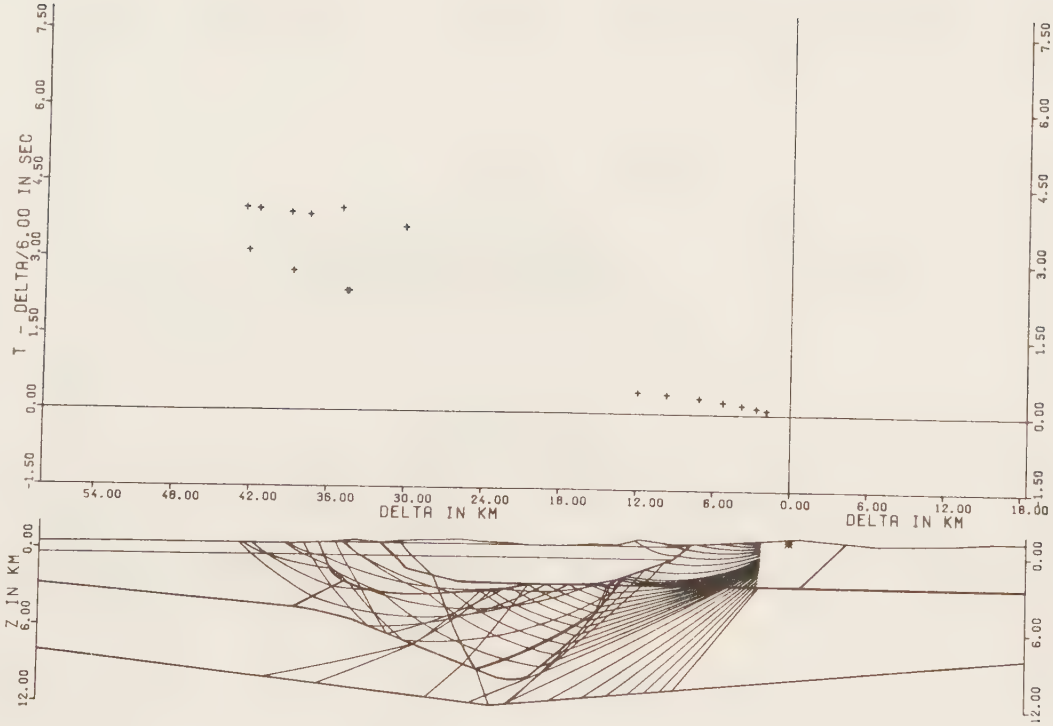


Abb.31. Schußpunkt E: Errechnete Strahlen und Laufzeiten für das in der Abb. 28 gezeigte Modell.

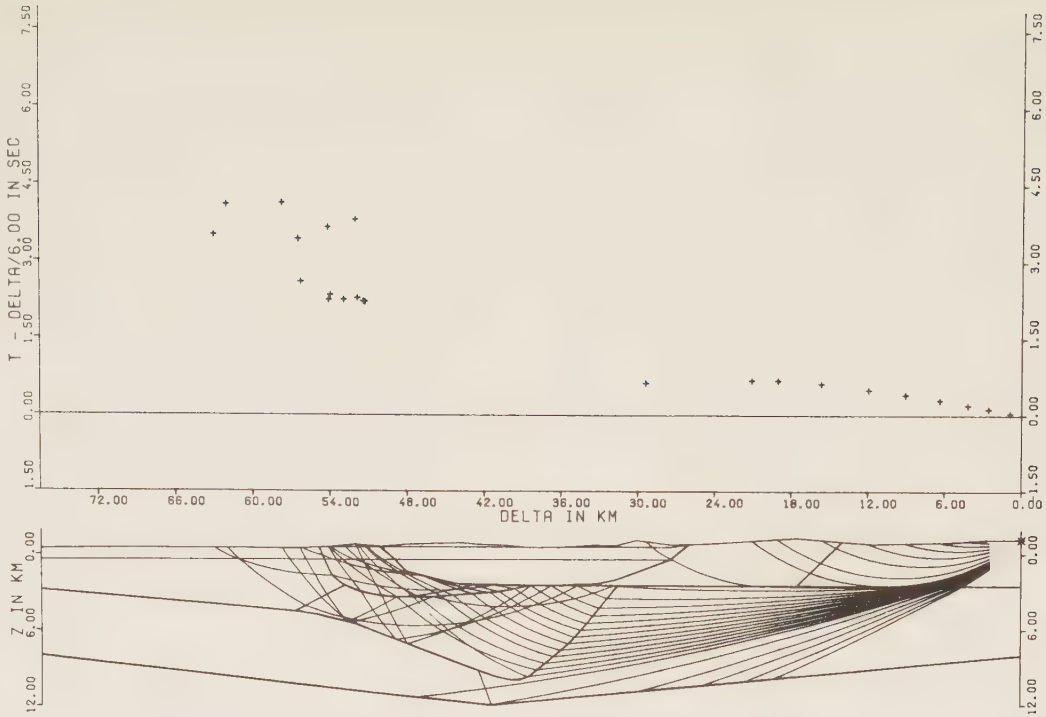


Abb.32. Schußpunkt F: Errechnete Strahlen und Laufzeiten für das in der Abb. 28 gezeigte Modell.

etwa gleich dem der Schußpunkte bei Marquartstein und bei Gartenau. Aus der Abbildung 29 ist ersichtlich, daß auf den Süd-Profilen von diesen beiden Schußpunkten aus keine Einsätze von Wellen aus der Unterlagerung erwartet werden können. Weiterhin werden für die Schußpunkte E und F solche Einsätze erst für den Bereich nördlich der Kalkalpen errechnet. Das Profil St. Johann i.P. - N, dessen Schußpunkt südlich der Kalkalpen in etwa dem mittleren Abstand desjenigen der Punkte E und F liegt, endet allerdings schon innerhalb der Kalkalpen. Für die genannten Profile ist also der mögliche Fall nicht eingetreten, daß spezielle Einsätze für das Modell errechnet, aber nicht gemessen wurden. Insofern stehen die Meßergebnisse dieser Profile in keinem Widerspruch zum gezeigten Modell.

8. ZUSAMMENFASSUNG

In den Jahren 197o - 1974 wurden im Nordteil der Ostalpen, hauptsächlich zwischen Salzach und Inn, von 8 Steinbrüchen aus 11 Profile refraktions-seismisch vermessen. Die in den Steinbrüchen angewandte Technik verzögerter Großbohrloch - Sprengungen bedingt einen relativ geringen seismischen Wirkungsgrad. Daher ist für 1o der Profile die maximale Schußpunkts - Entfernung etwa gleich 65 km; nur auf einem Profil konnte bis in eine Entfernung von etwa 16o km erfolgreich registriert werden. Dieses lange Profil geht über das oben genannte Gebiet hinaus: etwa zur Hälfte liegt es westlich des Inn. Der mittlere Stationsabstand beträgt auf den kurzen Profilen etwa 2 km, auf dem langen Profil in größeren Entfernungen etwa 7 km. Es wurde mit Magnetband - Apparaturen in Analog - Technik ("MARS 66") registriert. Die Meßergebnisse liegen in Form von 11 Seismogramm - Montagen vor; diese enthalten insgesamt 17o Seismogramme, die bei 35 Schüssen aufgenommen wurden.

Die meisten der auf diesen Profilen korrelierten Laufzeitkurven weisen Effekte auf, die mit lateralen Variationen der Geschwindigkeit seismischer Wellen zu erklären sind. Für die Auswertung solcher Messungen wurde daher ein Rechenprogramm entwickelt, mit dem für vorgegebene Modelle mit zweidimensionaler Geschwindigkeits - Verteilung die Laufwege seismischer Signale im Untergrund und die zugehörigen Laufzeiten berechnet werden können. Die Modelle des Untergrundes sind dabei aus Schichten mit entweder konstanter Wellengeschwindigkeit oder mit konstantem, beliebig gerichteten Gradienten der Geschwindigkeit aufgebaut. Die Schichtgrenzen sind beliebig geformte Polygonzüge, auch Auskeilen von Schichten und linsenförmige Strukturen sind möglich. So können beliebige diskontinuierliche und kontinuierliche Geschwindigkeits - Verteilungen auf anschauliche Weise dargestellt werden. Die Laufwege und -zeiten der Signale werden für einen

Schußpunkt an beliebiger Stelle des Modells für vorgegebene Abstrahlwinkel errechnet.

Die Profile wurden zunächst - soweit möglich - näherungsweise mit bekannten direkten Inversions - Verfahren ausgewertet (hier vorwiegend nach dem Herglotz - Wiechert - Verfahren), um so Daten für die ersten Modelle zu erhalten. Weitere Daten wurden der Literatur entnommen. Für die so konstruierten Modelle wurden Laufwege und -zeiten errechnet und mit den gemessenen Werten verglichen. Bei Abweichungen wurden die Modelle im Bereich der betreffenden Strahlen geändert und damit neue Rechnungen durchgeführt. Dieser Vorgang wiederholte sich, bis eine befriedigende Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Laufzeiten erzielt war.

Ein wichtiges Ergebnis der Auswertungen sind die in den Kalkalpen gemessenen extrem großen Geschwindigkeiten der Longitudinal-Welle: auf den Profilen in der Staufen-Höllengebirgs-Decke mit anstehendem Dachsteinkalk, Hauptdolomit, Wettersteinkalk und Raumsaudolomit wurden Werte zwischen 5.5 km/sec an der Oberfläche und über 7 km/sec an der Basis der Kalkalpen ermittelt. Weiterhin ergab sich für die Mächtigkeit der Kalkalpen im Untersuchungsgebiet ein mittlerer Wert von etwa 3.1 km.

Wegen der großen Wellengeschwindigkeit im Kalkalpin ist es schwierig, Informationen über das darunter lagernde Material zu erhalten. Es erwies sich, daß hierfür entweder lange Profile mit P_MP - Ästen nötig sind, wie z.B. Golling-W, oder daß - bei kurzen Profilen - die Schuß- und Meßpunkte geeignet angeordnet sein müssen, wie z.B. beim Profil Rohrdorf-S: hier liegt der Schußpunkt nördlich, ein Teil der Meßpunkte südlich der Kalkalpen. Bei der Auswertung dieser beiden Profile konnte jeweils ein Gegenschuß mitverwendet werden: für Golling-W ein Teil des im Rahmen eines anderen Forschungs-Programmes vermessenen Profils Eschenlohe-E und für Rohrdorf-S das Profil Kiefersfelden-N. Die Modelle, für die die beste Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Laufzeitkurven erzielt wurde,

zeigen als wichtigste Eigenschaft eine Unterlagerung der Kalkalpen bis mindestens 15 km von ihrem Nordrand nach Süden durch eine Schicht von maximal etwa 7 km Mächtigkeit. Diese Schicht kann nach ihrer Wellengeschwindigkeit im Modell als aus Molasse und/oder Helvetikum und/oder Flysch bestehend interpretiert werden.

LITERATURVERZEICHNIS

Angenheister, G.: Struktur der tieferen Erdkruste im nördlichen Alpenvorland nach Ergebnissen der Refraktions- und Reflexions-Seismik. Beih.Geol.Jb. 80,31-41,1969.

Angenheister, G.: Anomalien der vertikalen Komponente Z des Erdmagnetfeldes im nördlichen Alpen-Vorland und in den Ostalpen, gemessen längs Profilen 1958-1973. Veröff.Geophys. Obs.Fürstenfeldbruck,Serie B,Nr.5,15-26,1974.

Angenheister, G., H.Bögel, H. Gebrande, P. Giese, P. Schmidt-Thomé, W. Zeil: Recent investigations of surficial and deeper crustal struktures of the Eastern and Southern Alps. Geol.Rundsch.61,349-395,1972.

Angenheister, G., H. Bögel und G. Morteani: Die Ostalpen im Bereich einer Geotraverse vom Chiemsee bis Vicenza. Nachr. Dtsch.Geol.Ges.9,55-59,1974.

Angenheister, G., H. Bögel und G. Morteani: Die Ostalpen im Bereich einer Geotraverse vom Chiemsee bis Vicenza. N.Jb. Geol.Paläont.Abh.148,5o-137,1975.

Bayer. Geol. Landesamt (Hrsg.): Geologische Karte von Bayern 1:5oo ooo mit Erläuterungen. Verl.Bayer.Geol.Landesamt, München 1964.

Beblo, M.: Die elektrische Leitfähigkeit unter den Ostalpen abgeleitet aus magnetotellurischen Messungen längs eines Profils vom Alpennordrand bis zu den hohen Tauern. Diss. Univ.München,1974.

Berckhemer, H.: MARS 66 Eine Magnetbandapparatur für seismische Tiefensondierung. Z.f.Geophys.36,5o1-518,197o.

Bleil, U.: Vermessungen der Totalintensität und Vertikalintensität längs eines Alpenquerprofiles auf dem nördlichen Abschnitt der Geotraverse Ia.Profil XI: Salzburg, Paß Lueg, St.Johann, Hüttschlag. Veröff.Geophys.Obs.Fürstenfeldbruck, Serie B,Nr.5,11-14,1974.

Boden, K.: Geologisches Wanderbuch für die Bayerischen Alpen. Stuttgart: Verlag Ferdinand Enke 193o.

Bortfeld, R.: Moderne Seismik dringt in größere Tiefen vor. Erdöl u. Kohle 24,289-298,1971.

Breyer, F. und G. Dohr: Betrachtungen über den Bau der Gefalteten Molasse im westlichen Bayern mit Beziehung auf das Molasse-Vorland und die angrenzenden Teile der Alpen auf Grund geophysikalischer Untersuchungen. Erdöl u. Kohle 12, 315-323,1959.

Choudhury, M., P. Giese and G. de Visintini: Crustal Structure of the Alps: Some general Features from Explosion Seismology. Boll.Geofis.teorica appl.13,211-24o,1971.

Clasen, G.: Salzstockrandbestimmungen mit Hilfe gravimetrischer und seismischer Methoden. Erdöl u. Kohle 11,2-5,1958.

Doben, K.: Geologische Karte von Bayern 1:25 ooo, mit Erläuterungen, Blatt Nr. 8241 Ruhpolding. (Hrsg.Bayer.Geol. Landesamt) München 197o.

Doben, K. und M. Freimoser: Geologische Karte von Bayern 1:25 ooo, mit Erläuterungen, Blatt Nr. 8242 Inzell. (Hrsg. Bayer.Geol.Landesamt) München,1973.

Freimoser, M.: Zur Stratigraphie, Sedimentpetrographie und Faziesentwicklung der Südostbayerischen Flyschzone und des Ultrahelvetikums zwischen Bergen/Obb. und Salzburg. Geologica Bavar.66,7-91,1972.

Fuchs , K.:On the Determination of Velocity Depth Distributions of Elastic Waves from the Dynamic Characteristics of the Reflected Waves Field. Z.f.Geophys.36,531-548,197o.

Gamburzew, G.A.: Grundlagen seismischer Erkundung. München: Verlag Otto Sagner 1965.

Ganss, O.: Geologische Karte von Bayern 1:1oo ooo, Blatt Nr. 665 Schliersee. (Hrsg. Bayer.Geol.Landesamt) München,1953.

Ganss, O.: Geologische Karte von Bayern 1:25 ooo, mit Erläuterungen, Blatt Nr. 824o Marquartstein. (Hrsg. Bayer.Geol. Landesamt) München, 1966/1967.

Giese, P.: Versuch einer Gliederung der Erdkruste im nördlichen Alpenvorland, in den Ostalpen und in Teilen der Westalpen mit Hilfe charakteristischer Refraktions-Laufzeit-Kurven sowie eine geologische Deutung. Geophys.Abh.Inst. Met.Geophys.Univ.Berlin, Band I Heft 2,1968.

Giese, P. und A. Stein: Versuch einer einheitlichen Auswertung tiefenseismischer Messungen aus dem Bereich zwischen der Nordsee und den Alpen. Z.f.Geophys.37,237-272,1971.

Grubbe, K.: Refraktionsseismische Messungen im Jahr 1967 auf einer Linie zwischen Braunschweig und dem Rothaar-Gebirge (Norddeutschland). Dipl.-Arb.Inst.f.Angew.Geophys.Univ. München,1969.

Haenel, R. and G. Zoth: Heat Flow Measurements in Austria and Heat Flow Maps of Central Europe. Z.f.Geophys.39,425-439, 1973.

Herglotz, G.: Über das Benndorfsche Problem der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenstrahlen. Phys.Zeitschr.,8, 145-147,19o7.

John, H.: Die Gliederung der deutschen Alpenvorlandsmolasse mit Hilfe seismischer Geschwindigkeiten. Erdöl u. Kohle 1o,493-496,57o-573,661-664,1957.

Kemmerle, K.: Magnetotellurik am Nordrand der Bayerischen Alpen entlang eines Profiles vom Chiemsee bis Reit im Winkl. Dipl.-Arbeit,Inst.f.Angew.Geophys.,Univ.München,1973.

Koschyk, K.: Beobachtungen zur Erforschung der Erdkruste mit der Methode der Refraktions-Seismik längs der beiden Profile Eschenlohe-SE und Eschenlohe-E in den Ostalpen 1965-1969. Dipl.-Arbeit Inst.f.Angew.Geophys.Univ.München,1969.

Krey, Th. and I. Nodop: Application of Refraction Seismics to Subsalt Tectonic Problems in a Deep Saltdome Basin. Geophys.Prospect.18,364-379,197o.

Kröll, A. und G. Wesseley: Neue Erkenntnisse über Molasse, Flysch und Kalkalpen auf Grund der Ergebnisse der Bohrung Urmannsau I. Erdöl-Erdgas-Z.83,342-353,1967.

Lemcke, K.: Zur nachpermischen Geschichte des nördlichen Alpenvorlandes. Geologica Bavar.69,5-48,1973.

Makris, J.: Aufbau der Erdkruste in den Ostalpen aus Schweremessungen und die Ergebnisse der Refraktionsseismik. Hamb. Geophys.Einzelschr.,Heft 15,1971.

Meißner, R.: Zum Aufbau der Erdkruste; Ergebnisse der Weitwinkelmessungen im bayerischen Molassebecken, Teil I u. II. Gerl.Beitr.z.Geophys.76,211-254 u.295-314,1967.

Müller, St. and M. Talwani: A Crustal Section Across the Eastern Alps Based on Gravity and Seismik Refraction Data. Pure Appl.Geophys.85 ,226-239,1971.

Partsch, W.: Ein gravimetrisches Modell der Erdkruste im Gebiet der Ostalpen. Z.f.Geophys.37,957-973,1971.

Prodehl, G.: Auswertungen von Refraktionsbeobachtungen im bayerischen Alpenvorland (Steinbruchsprengungen bei Eschenlohe 1958-1961) im Hinblick auf die Tiefenlage des Grundgebirges. Z.f.Geophys.3o,161-181,1964.

Reich, H.: Grundlagen der angewandten Geophysik für Geologen. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 196oa.

Reich, H.: Seismische Untersuchung des Flyschtroges bei Lenggries westlich und östlich der Isar. Nachr.d.Akad.d.Wiss. Göttingen;II.Math.-Phys.Kl.,Nr.11,2o5-255,196ob.

Schmidt-Thomé, P.: Geologische Karte von Bayern 1:1oo ooo, Blatt Nr. 664 Tegernsee. (Hrsg.Bayer.Geol.Landesamt) München,1953.

Schmidt-Thomé, P.: Geologische Karte von Bayern 1:1oo ooo, Blatt Nr. 663 Murnau. (Hrsg.Bayer.Geol.Landesamt) München,1965.

Veit, E.:Der Bau der südlichen Molasse Oberbayerns auf Grund der Deutung seismischer Profile. Bull.Ver.Schweiz.Petr. Geol.78,15-52,1963.

Vetters, H.: Geologische Karte der Republik Österreich und der Nachbargebiete. (Hrsg.Geol.B.-A.Wien) Wien,1933.

Wiechert, E.: Bestimmung des Weges der Erdbebenwellen im Erdinnern. Phys.Zeitschr.11,294-311,191o.

Zschau, J. and K. Koschyk: Results from an Evaluation of both Longitudinal and Transverse Waves on a Seismic Profile along the Northern Margin of the Alps. in: Results of Deep Seismic Sounding in the Federal Republic of Germany and some other Areas (Hrsg. P.Giese,C.Prodehl,A.Stein) - in Druck.

Zur Mühlen, W. von and G. Tuchel: A Study of Well Velocity Data in North West Germany. Geophys. Prospect.1,159-17o,1953.

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Angewandte Geophysik der Ludwig-Maximilians-Universität in München unter der Betreuung meines verehrten Lehrers, Herrn Prof. Dr. G. Angenheister, angefertigt. Ihm gebührt für sein ständiges Interesse sowohl an den Feldmessungen, an denen er selbst teilnahm, als auch am Fortgang der Auswertung mein besonderer Dank.

Für viele wertvolle Hinweise möchte ich Herrn Prof. Dr. O. Förtsch danken. Für ihren Rat in geologischen Fragen danke ich Herrn Prof. Dr. H. Zankl und Herrn Dr. H. Bögel.

Herrn Dipl.-Geophys. H. Gebrande danke ich für stete fruchtbare Diskussionen zur Durchführung und Auswertung der Messungen. Den Herren Dipl.-Geophys. K. Grubbe, Dr. H. Miller und Dr. E. Schmedes gilt mein Dank für viele anregende Gespräche.

All jenen, die durch ihren selbstlosen Einsatz die umfangreichen Messungen ermöglichten, möchte ich meinen besonderen Dank aussprechen. - Den Angehörigen der Steinbruch-Betriebe gebührt mein Dank für ihr Entgegenkommen bei der Durchführung der Messungen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für die finanzielle Unterstützung der Messungen.

Die numerischen Rechnungen wurden am Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München durchgeführt.

Lebenslauf

Am 10. Februar 1945 wurde ich, Manfred Will, als Sohn des damaligen Oberstfeldmeisters und heutigen Steuer-Amtmannes Heinz Will und seiner Ehefrau Hildegard, geb. Dröse, in Malchow, Kreis Waren in Mecklenburg, geboren. Meine Mutter befand sich zu der Zeit auf der Flucht aus Driesen in Pommern.

Seit 1951 besuchte ich die Volksschule in Harrisleefeld bei Flensburg, seit 1954 die Volksschule in Kiel. 1955 wurde ich in das Neusprachliche und Naturwissenschaftliche Max-Planck-Gymnasium in Kiel aufgenommen. Hier erhielt ich 1964 das Zeugnis der Reife.

Seit 1964 studierte ich an der Christian-Albrechts-Universität in Kiel und bestand dort im Mai 1967 die Diplom-Vorprüfung in Geophysik. Danach setzte ich mein Studium an der Ludwig-Maximilians-Universität in München fort. Hier erhielt ich 1970 das Diplom in Geophysik.

Seitdem bin ich als Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Dr. G. Angenheister am Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Universität München tätig.

Seit 1968 bin ich verheiratet.

A N H A N G

I. Angaben zu Schüssen, Angaben zu Spuren

Die Tabellen auf Seite 92 -117 enthalten alle wesentlichen Daten der Sprengungen und der in den Montagen enthaltenen Seismogramme, geordnet nach Profilen.

Profil: GARTENAU - S (Angaben zu Schüssen)

Nr.	Datum	Zeit h m s	Koordinaten λ	Koordinaten φ	Höhe (m)	Gesamt Ladung (kg)	Maxim. Ladung /Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzög. /Stufe (ms)	App.-Nr. Registr.
A	22.04.70	12 31 00.960	13°03.085'	47°42.980'	605	2000	116	22/1	20/40	M 4 Gebrande /Miller
B	08.05.70	12 31 01.860	13°03.090'	47°43.005'	590	1784	106	21	20	M 4 Gebrande
C	01.07.70	12 29 59.580	13°03.085'	47°43.000'	590	?	?	?	?	M 4 Gebrande
D	10.12.70	15 01 00.230	13°03.125'	47°42.985'	590	2925	116	19/9 /3	20/40 /500	M 1 Will
E	15.06.71	12 31 00.360	13°03.085'	47°42.895'	635	2250	119	19/3	20/40	M 7 Will
F	21.07.71	12 31 02.315	13°03.075'	47°42.915'	630	1469	109	18	20	M 4 Gebrande
G	18.04.72	13 01 00.970	13°03.095'	47°42.875'	650	2600	100	19/7	20/40	M 2 Will
H	06.11.73	14 01 00.292	13°03.140'	47°42.965'	590	3150	113	19/9	20/40	M 9 Will

Profil: GARTENAU - S /Blatt 1/ (Angaben zu Spuren)

Nr.	Δ (km)	Kl.	Empf. - r.	Anzahl	Geräuschr.	Untergr.	RSW (m)	Verst. Stufe	Tief -pass (Hz)	Empf. Senr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
1	2.36	C	M 5	1	Eberle	Asphalt	520	2^3	200	0.400	--		
2	3.88	G	M 1	1	Weise	Baumst.	660	2^5	200	0.571	--		
3	6.87	E	M 2	2	Lehner	Ansteh.	820	2^9	200	1.200	--		
4	8.36	G	M 3	1	Grubbe	Baumst.	880	2^8	200	0.800	--		
5	10.24	E	M 9	1	Peters	Baumst.	620	2^9	200	1.714	--		
6	12.64	F	M 5	1	Peters	Ansteh.	520	2^9	200	0.800	--		
7	14.12	G	M 5	2	Städtler	Weg	520	2^9	20	0.400	--		
8	17.17	A	M 6	1	Schmedes	Ansteh.	490	2^{10}	20	0.400	0-50		
9	20.77	G	M 6	3	Bühler	Baumst.	510	2^9	20	0.300	6-40		
10	23.45	D	M 9	1	Mohr	Block	560	2^{10}	?	0.800	8-40		
11	26.78	H	M 7	1	Reichenbach	Ansteh.	605	2^{10}	200	0.400	--		
12	28.78	D	M 7	3	Peters	Baumst.	660	2^{10}	200	0.060	12-30		
13	32.12	B	M 2	1	Grubbe	Baumst.	760	2^{10}	20	0.020	12-30		
14	36.94	B	M 1	3	Miller	Ansteh.	670	2^{10}	20	0.120	12-30		
15	39.80	D	M 4	1	Weise	Ansteh.	750	2^{11}	20	0.120	12-20		

Profil: GARTENAU - S /Blatt 2/ (Anzahl zu Spuren)

Spur	Δ (km)	[illegible]	App.-Nr.	[illegible]	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Verst. Zuch.	Tief-paß (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
16	44.67	D	M 5	1	Scheliga	Ansteh.	860	2^{10}	20	0.120	8-30		
17	46.21	C	M 2	3	Pohl	?	840	2^{11}	?	0.400	6-30		
18	48.12	B	M 6	1	Weise	Ansteh.	940	2^{10}	20	0.171	0-20		
19	50.59	B	M 5	1	Scheliga	Ansteh.	960	2^{11}	20	0.571	--		
20	52.86	E	M 6	3	Grubbe	Ansteh.	1080	2^{11}	20	0.400	6-40		
21	55.12	E	M 4	2	Miller	Ansteh.	940	2^{11}	20	0.120	4-24		
22	58.12	E	M 5	2	Städtler	Ansteh.	990	2^{11}	20	0.020	6-30		
23	62.93	H	M 5	2	Grubbe	Ansteh.	1180	2^{11}	20	0.080	0-20		
24	63.96	H	M 4	1	Bühler	Baumst.	1285	2^{10}	20	0.120	0-16		
25	66.43	H	M 6	2	Zinßer	Baumst.	1410	2^{11}	20	0.200	0-20		

Profil: GARTENAU - W

(Angaben zu Schüssen)

Schuß	Datum	Zeit h m s	Koordinaten λ	Koordinaten φ	Höhe (m)	Gesamt Ladung (kg)	maxim. Ladung /Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzög. /Stufe (ms)	App.-Nr. Registr.
A	22.04.71	12 31 00.245	13°03.115'	47°42.925'	635	1838	88	19/2	20/40	M 7 Will
B	30.04.71	13 01 00.162	13°03.125'	47°42.975'	590	2630	100	19/8	20/40	M 7 Will
C	12.01.72	13 01 00.572	13°03.120'	47°42.945'	630	2800	100	19/9	20/40	M 6 Will
D	19.01.72	13 31 00.520	13°03.110'	47°42.855'	650	?	?	?	?	M 2 Will
E	25.10.72	13 01 00.690	13°03.380'	47°42.550'	670	1221	112	12	20	M 9 Will
F	06.11.73	14 01 00.292	13°03.140'	47°42.965'	590	3150	113	19/9	20/40	M 9 Will

Profil: GARTENAU - W /Blatt 1/ (Anlagen zu Spuren)

Spur Nr.	Δ (km)	[illegible]	[illegible] -Nr.	[illegible]	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Schwing. Frq.	Ober -ton (Hz)	Impr. Sch.r. (V/cm)	Filter (Hz)		cm.
1	2.34	E	M 3	3	Koschyk	Anst. (?)	520	2^{2}	200	0.120	0-80		
2	3.24	A	M 5	2	Gebrande	Ansteh.	1800	2^{5}	20	0.120	0-80		
3	5.87	A	M 6	1	Städtler	Ansteh.	600	2^{6}	200	0.120	--		
4	8.80	A	M 4	2	Bühler	Ansteh.	650	2^{7}	200	0.020	0-80		
5	10.54	E	M 1	2	Bühler	Baumst.	570	2^{9}	200	0.240	--		
6	11.24	D	M 3	2	Städtler	Baumst.	530	2^{9}	20	0.800	--		
7	13.63	D	M 1	3	Schmedes	Ansteh.	530	2^{10}	200	0.714	0-50		
8	14.80	A	M 10	1	Koschyk	Ansteh.	540	2^{8}	200	0.120	0-80		
9	16.81	E	M 5	2	Koch	Baumst.	540	2^{11}	200	1.200	0-30		
10	18.41	A	M 2	3	Zinßer	Ansteh.	650	2^{9}	20	0.040	0-40		
11	20.61	E	M 6	1	Angenheister	Ansteh.	720	2^{11}	200	1.200	0-20		
12	22.38	A	M 8	2	Miller	Ansteh.	680	2^{10}	200	0.200	0-30		
13	24.51	B	M 2	2	Städtler	Anst. (?)	910	2^{11}	20	0.020	0-50		
14	26.71	B	M 8	1	Miller	Ansteh.	840	2^{11}	20	0.060	0-40		
15	28.46	E	M 8	2	Städtler	Ansteh.	770	2^{11}	20	0.120	0-30		

Profil: GARTENAU - W /Blatt 2/ (Angaben zu Spuren)

Spur	△ (m)	Sch.	App. -Nr.	Anzahl	Meßtr.	Untergr.	Höhe (m)	Meßbereich	Zeit-fac (ms)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
16	29.29	B	M 10	2	Schweitzer	Ansteh.	705	2^{11}	20	0.060	0-30		
17	30.46	B	M 4	2	Bühler	Ansteh.	880	2^{11}	200	0.040	6-30		
18	35.05	B	M 5	1	Pohl	Anst. (?)	970	2^{9}	20	0.020	6-20		
19	38.36	B	M 6	2	Eberle	Ansteh.	1100	2^{11}	200	0.006	6-30		
20	40.96	D	M 5	3	Lehner	Ansteh.	1125	2^{11}	200	0.080	6-20		
21	43.21	D	M 6	2	Bühler	Ansteh.	710	2^{11}	20	0.040	6-20		
22	46.99	F	M 14	2	Schmedes	Stein	730	2^{10}	20	0.400	0-16		
23	49.62	F	M 13	2	Koch	Beton auf Ansteh.	850	2^{10}	20	0.120	0-16		
24	52.11	F	M 12	2	Becker	Baumst.	960	2^{11}	200	0.120	0-16		
25	55.67	C	M 1	2	Bühler	Ansteh.	635	2^{11}	20	0.040	0-16		
26	58.33	C	M 2	3	Lehner	Baumst.	830	2^{11}	200	0.120	0-16		
27	60.72	C	M 5	3	Weise	Baumst.	775	2^{11}	200	0.120	0-16		

Profil: St. JOHANN i.P. - N (Angaben zu Schüssen)

Schuß	Datum	Zeit h m s	Koordinaten λ	Koordinaten φ	Höhe (m)	Gesamt Ladung (kg)	Maxim. Ladung/Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzög./Stufe (ms)	Appr.-Nr. Registr.
A	21.01.72	16 01 35.538	13°11.210'	47°19.930'	640	475	475	momentan		M 1 Will
B	03.10.73	14 11 54.472	13°11.190'	47°19.920'	640	600	300	3	20	M 9 Will

Profil: St. JOHANN i.P. - N (Angaben zu Spuren)

[illegible]	Δ (km)	[illegible]	Emp.-Nr.	[illegible]	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Verst. Aufn.	Tief-pak (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
1	2.09	B	M 10	2	Will	Haus-fundam.	585	2^4	200	0.400	--		
2	4.50	A	M 3	2	Weise	Ansteh.	700	2^6	200	2.000	--		
3	8.50	B	M 6	2	Bühler	Ansteh.	870	2^8	200	1.200	--		
4	13.23	B	M 5	2	Reichenbach	Weg	790	2^8	200	1.714	--		
5	20.93	B	M 2	1	Städtler	Ansteh.	600	2^9	20	0.400	0-24		
6	24.44	B	M 7	3	Klaus	Ansteh.	520	2^{10}	20	0.667	0-30		
7	29.57	B	M 8	2	Zinßer	Ansteh.	570	2^{10}	20	0.400	--		
8	33.02	A	M 5	2	Lehner	Ansteh.	560	2^{11}	200	1.200	0-50		
9	36.53	A	M 6	2	Bühler	Baumst.	840	2^{10}	20	0.800	--		
10	39.59	B	M 13	3	Koch	Ansteh.	590	2^{10}	200	0.200	0-10		
11	44.27	B	M 14	1	Miller	Ansteh.	470	2^{10}	20	0.240	0-30		

Profil: MARQUARTSTEIN - S (Angaben zu Schüssen)

Schuß	Datum	Zeit h m s	Koordinaten λ	φ	Höhe (m)	Gesamt Ladung (kg)	Maxim. Ladung /Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzög. /Stufe (ms)	App.-Nr. Registr.
A	12.05.70	16 01 01.960	12°26.500'	47°45.280'	610	1500	170	9	20	M 3 Gebrande
B	22.08.72	16 01 00.508	12°26.535'	47°45.315'	605	850	130	8	20	M 9 Will
C	12.10.73	14 01 01.765	12°26.550'	47°45.325'	605	2500	140	19	20	M 4 Will

Profil: MARQUARTSTEIN - S

(Angaben zu Spuren)

Spur	Δ (km)	[illegible]	Spr.-Nr.	[illegible]	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Verst. Aufn.	Tief-raß (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
1	1.96	B	M 3	1	Koch	Baumst.	550	2^2	200	0.024	0-30		
2	4.09	B	M 2	2	Eisner	Baumst.	880	2^4	200	0.024	0-24		
3	6.95	B	M 1	2	Städtler	Ansteh.	1040	2^6	200	0.024	0-30		
4	8.35	A	M 2	3	Reitmayr	?	840	2^8	20	0.240	0-24		
5	10.28	B	M 7	2	Miller	Beton-Sockel	690	2^9	20	0.400	--		
6	12.18	A	M 1	2	Grubbe	Ansteh.	1060	2^9	200	0.240	0-30		
7	14.88	B	M 6	1	Grubbe	Baumst.	980	2^{10}	200	0.800	0-50		
8	16.74	B	M 5	1	Becker	Baumst.	810	2^{11}	200	0.800	0-24		
9	19.49	B	M 4	1	Koschyk	Ansteh.	660	2^{11}	200	0.400	0-24		
10	21.80	A	M 7	2	Schmedes	?	610	2^{11}	20	0.400	0-24		
11	23.54	C	M 13	2	Martinez	Ansteh.	815	2^9	200	0.120	0-30		
12	27.30	C	M 14	2	Städtler	Baumst.	750	2^{10}	?	0.200	0-24		
13	29.97	C	M 9	3	Thuringer	Ansteh.	1180	2^{10}	200	0.120	0-24		
14	31.89	C	M 10	2	Miller	Weg	1200	2^{10}	20	0.120	0-16		
15	40.98	C	M 8	2	Bühler	Fundam.	1240	2^{10}	20	0.120	0-24		

Profil: MARQUARTSTEIN - N (Angaben zu Schüssen)

Schuß	Datum	Zeit h m s	Koordinaten R	Koordinaten H	Höhe (m)	Gesamt Ladung (kg)	Maxim. Ladung /Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzögr. /Stufe (ms)	Apr.-Nr. Registr.
A	27.01.71	12 01 00.705	45 33 13	52 90 74	600	1900	120	?	?	M 1 Will

Profil: MARQUARTSTEIN - N (Angaben zu Spuren)

[illegible]	Δ (km)	[illegible]	[illegible] -Nr.	[illegible]	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Verst Aufn.	Tief -pass (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
1	2.37	A	M 5	1	Eisner	Ansteh.	580	2^3	200	0.400	--		
2	6.46	A	M 4	2	Eberle	Baumst.	545	2^5	200	0.040	0-50		
3	9.44	A	M 6	3	Grubbe	Zement-Block	520	2^6	200	0.120	0-50		
4	13.61	A	M 7	1	Miller	Beton-Mauer	520	2^8	200	0.400	0-50		
5	15.40	A	M 9	2	Georgescu	Baumst.	540	2^7	20	0.171	0-50		
6	18.61	A	M 8	3	Weise	Baumst.	540	2^8	200	0.240	0-50		
7	20.39	A	M 10	2	Bühler	Baumst.	535	2^8	200	0.120	0-50		

Profil: ANTONIBERG - E

(Angaben zu Schüssen)

Nr.	Datum	Zeit h m s	Koordinaten λ	φ	Höhe (m)	Gesamt-Ladung (kg)	Max. Ladung /Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzögr. /Stufe (ms)	App.-Nr. Registr.
A	23.06.72	11 00 19.020	12°48.470'	47°42.330'	630	300	80	4	20	M 7 Will

Profil: ANTONIBERG - E

(Angaben zu Spuren)

[illegible]	Δ (km)	[illegible]	App. -Nr.	[illegible]	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Verst Aufn.	Tief -paß (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
1	2.24	A	M 1	3	Städtler	Baumst.	550	2^3	200	1.200	0-80		
2	4.83	A	M 2	2	Hedley	Ansteh.	510	2^6	200	0.020	0-40		
3	7.60	A	M 3	2	Eisner	Baumst.	530	2^7	200	0.120	0-20		
4	9.99	A	M 10	3	Bühler	Ansteh.	670	2^7	20	0.006	0-16		
5	13.26	A	M 9	3	Becker	Ansteh.	590	2^9	20	0.120	0-30		

Profil: ROHRDORF - E

(Angaben zu Schüssen)

Nr.	Datum	Zeit h m s	Koordinaten λ	Koordinaten φ	Höhe (m)	Gesamt Ladung (kg)	Max. Ladung /Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzög. /Stufe (ms)	Apr.-Nr. Registr.
A	30.07.71	12 02 10.435	12°10.950'	47°47.305'	600	750	150	5	20	M 10 Will
B	10.08.71	12 01 05.513	12°11.100'	47°47.365'	580	1100	?	?	20	M 10 Scheliga
C	10.08.71	12 31 00.730	12°10.920'	47°47.335'	595	600	?	?	20	M 10 Scheliga
D	12.01.72	12 01 01.855	12°11.100'	47°47.365'	580	?	?	?	20	M 3 Grubbe

Profil: ROHRDORF - E

(Angaben zu Spuren)

[illegible]	Δ ([illegible])	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Verst. Aufn.	Tief-pa[illegible] (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
1	2.49	B	M 9	2	Angenheister	Baumst.	680	2^{2}	200	0.200	--		
2	6.75	D	M 2	1	Lehner	Baumst.	860	2^{7}	200	1.200	--		
3	9.88	D	M 1	2	Bühler	Ansteh.	635	2^{8}	20	0.040	0-30		
4	13.29	A	M 5	2	Eisner	Ansteh.	960	2^{10}	200	0.060	0-50		
5	15.53	A	M 2	1	Koschyk	Baumst.	925	2^{11}	200	0.400	0-50		
6	18.59	A	M 4	2	Grubbe	Ansteh.	795	2^{11}	200	0.400	--		
7	22.29	B	M 3	3	Bühler	Ansteh.	670	2^{10}	20	0.120	0-20		
8	23.22	B	M 1	1	Bleil	Ansteh.	1070	2^{11}	20	0.060	0-30		
9	25.01	C	M 2	2	Lehner	Ansteh.	1155	?	200	0.006	0-20		
10	31.36	A	M 8	2	Pohl	Ansteh.	930	2^{11}	200	0.120	0-30		
11	35.41	A	M 7	3	Bleil	Ansteh.	920	2^{11}	200	0.120	0-20		
12	38.91	B	M 7	2	Städtler	Ansteh.	815	2^{11}	20	0-020	0-50		

Profil: ROHRDORF - S (Angaben zu Schüssen)

Schuß	Datum	Zeit h m s	Koordinaten λ	Koordinaten φ	Höhe (m)	Gesamt Ladung (kg)	Max. Ladung /Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzögr. /Stufe (ms)	App.-Nr. Registr.
A	17.09.71	12 31 02.820	12°11.100'	47°47.365'	580	1275	80	16	20	M 10 Will
B	12.04.72	12 01 02.265	12°11.090'	47°47.365'	580	1000	90	11	20	M 1 Will
C	09.11.72	12 01 02.818	12°11.240'	47°47.355'	590	1000	125	8	20	M 9 Will
D	12.06.74	12 01 02.599	12°11.000'	47°47.370'	580	600	120	5	20	M 9 Will

Profil: ROHRDORF - S /Blatt 1/ (Angaben zu Spuren)

Spur	Δ (km)	[illegible]	Arr.-Nr.	[illegible]	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Verst. Aufn.	Tief-paß (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
1	1.87	C	M 10	1	Hedley	Baumst.	775	2^2	200	0.400	--		
2	4.03	C	M 7	1	Schmedes	Baumst.	605	2^4	200	0.120	0-60		
3	5.85	C	M 3	1	Gebrande	Baumst.	795	2^8	200	0.667	--		
4	8.07	C	M 7	2	Weise	Ansteh.	890	2^7	200	0.120	0-80		
5	9.99	D	M 8	2	Gebrande	Ansteh.	940	2^{10}	20	0.171	0-24		
6	10.78	D	M 8	1	Gebrande	Ansteh.	840	2^9	20	0.240	0-13		
7	11.55	D	M 7	1	Eisner	Ansteh.	790	2^{10}	20	0.240	0-20		
8	13.58	D	M 12	2	Städtler	Ansteh.	730	2^{10}	20	0.120	4-20		
9	15.47	D	M 11	2	Koch	Ansteh.	530	2^{10}	20	0.120	4-24		
10	18.00	D	M 10	2	Thuringer	Ansteh.	560	2^9	200	0.057	0-16		
11	20.63	C	M 4	1	Grubbe	Ansteh.	740	2^{11}	20	0.400	0-16		
12	22.27	C	M 5	1	Eisner	Baumst.	700	2^{10}	20	0.200	0-10		
13	23.89	C	M 8	1	Städtler	Ansteh.	1120	2^{10}	20	0.200	0-10		
14	26.50	C	M 6	1	Bühler	Ansteh.	780	2^{11}	20	0.240	0-10		
15	29.28	A	M 3	2	Miller	Ansteh.	830	2^{10}	20	0.020	0-16		

Profil: ROHRDORF - S /Blatt 2/ (Angaben zu Spuren)

[illegible]	Δ ([illegible])	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Vers. Aufn.	Tief-pa. (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
16	33.10	A	M 2	2	Weise	Fundam.	1060	2^{10}	200	0.020	0-16		
17	36.43	A	M 1	2	Städtler	Ansteh.	1320	2^{11}	200	0.120	0-16		
18	42.27	B	M 2	2	Bühler	Baumst.	840	2^{10}	200	0.040	0-13		
19	48.44	A	M 6	2	Peters	Ansteh.	970	2^{11}	200	0.200	0-16		
20	51.52	A	M 5	2	Schweitzer	Ansteh.	1180	2^{10}	20	0.020	0-10		

Profil: KIEFERSFELDEN - N

(Angaben zu Schüssen)

Schuß	Datum	Zeit h m s	Koordinaten λ	Koordinaten φ	Höhe (m)	Gesamt Ladung (kg)	Maxim. Ladung /Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzög. /Stufe (ms)	App.-Nr. Registr.
A	06.06.73	16 01 12.800	12°07.715'	47°36.185'	590	6900	448	18	20	M 8 Will/ Grubbe

Profil: KIEFERSFELDEN - N

(Angaben zu Spuren)

Spur	Δ (km)	Sch.	App.-Nr.	Anzahl	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Verst. Aufn.	Tief-pak (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
1	13.68	A	M 11	2	Reichenbach	Ansteh.	890	2^{11}	200	0.800	--		
2	15.70	A	M 12	2	Gebrande	Ansteh.	860	2^{10}	200	0.571	--		
3	17.23	A	M 6	2	Weise	Weg	585	2^{10}	200	1.200	--		
4	19.30	A	M 5	2	Lehner	Baumst.	820	2^{9}	20	0.240	0-30		
5	23.85	A	M 14	1	Thuringer	Baumst.	475	2^{8}	200	0.400	0-30		
6	26.75	A	M 13	2	Städtler	Baumst.	470	2^{8}	200	0.080	8-24		
7	35.26	A	M 3	2	Pohl	Baumst.	520	2^{10}	20	0.800	0-30		
8	37.00	A	M 4	1	Eisner	Baumst.	505	2^{9}	20	0.240	0-20		
9	40.71	A	M 1	1	Miller	Baumst.	460	2^{9}	20	0.400	8-30		

Profil: GOLLING - W

(Angaben zu Schüssen)

Schuss	Datum	Zeit h m s	Koordinaten λ	Koordinaten φ	Höhe (m)	Gesamt Ladung (kg)	Maxim. Ladung /Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzög. /Stufe (ms)	App.-Nr. Registr.
A	19.06.70	13 51 13.660	13°10.620'	47°34.535'	600	6400	?	?	20	M 2 Gebrande
B	14.06.72	13 50 01.733	13°11.080'	47°34.730'	520	2000	140	?	20	M 9 Will
C	23.07.73	13 43 11.825	13°11.035'	47°34.620	580	15000	750	19	20	M 10 Will
D	10.10.73	15 01 16.967	13°11.055'	47°34.710'	520	5600	400	15	20	M 10 Will

Profil: GOLLING - W /Blatt 1/ (Angaben zu Spuren)

[illegible]	Δ (°)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Vorgr. Aufl.	Tief-pass (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)	[illegible]	Bem.
1	1.88	D	M 13	1	Martinez	Block	490	2^0	200	0.080	0-80		
2	4.05	A	M 3	1	Grubbe	Baumst.	510	2^4	200	2.000	--		
3	6.56	D	M 9	1	Thuringer	Ansteh.	920	2^5	200	0.240	--		
4	9.02	D	M 14	1	Städtler	Ansteh.	1260	2^8	200	0.240	--		
5	11.46	A	B 8	2	Eilert	Ansteh.	1040	2^7	20	0.400	--		
6	14.32	B	M 2	1	Meißner	Ansteh.	670	2^7	20	0.240	--		
7	16.88	B	M 1	2	Bühler	Baumst.	695	2^8	200	0.400	--		
8	19.60	B	M 8	3	Städtler	Baumst.	660	2^8	20	0.240	0-30		
9	22.05	B	M 3	1	Koschyk	Baumst.	810	2^8	200	0.200	0-80		
10	24.52	A	B 2	3	Leppin	Baumst.	830	2^8	20	0.240	--		
11	27.73	A	B 1	2	Günther	Ansteh.	960	2^7	20	0.040	0-80		
12	33.17	C	M 8	2	Bühler	Ansteh.	880	2^{10}	20	0.571	--		
13	37.28	C	M 7	2	Thuringer	Ansteh.	790	2^{11}	200	0.571	--		
14	45.06	A	B 6	2	Schütte	Ansteh.	1250	2^9	20	0.024	8-30		
15	53.04	A	B 9	3	Röwer/ Dahnken	Ansteh.	760	2^{10}	20	0.040	8-30		

Profil: GOLLING - W /Blatt 2/ (Angaben zu Spuren)

Spur	Δ (km)	Geb.	App.-Nr.	Kanal	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Verst. Aufn.	Tief-pak (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
16	61.56	D	M 7	2	Reichenbach	Ansteh.	740	2^{10}	200	0.120	0-16		
17	66.77	D	M 2	1	Lüdtke	Baumst.	900	2^{11}	20	0.240	0-40		
18	73.71	D	M 8	2	Bühler	Fundam.	700	2^{10}	20	0.240	0-20		
19	80.65	C	M 4	1	Peters/ Angenheister	Baumst.	855	2^{11}	200	0.120	0-20		
20	87.52	C	M 5	2	Lehner	Ansteh.	815	2^{9}	20	0.400	0-16		
21	93.00	C	M 6	3	Reitmayr	Baumst.	1300	2^{9}	20	0.080	0-20		
22	101.85	C	M 11	3	Zinßer	Ansteh.	1050	2^{11}	200	0.240	0-20		
23	108.00	C	M 12	1	Städtler	Ansteh.	860	2^{11}	20	0.400	--		
24	115.43	A	M 9	2	Scheliga/ Zurek	?	940	2^{11}	20	0.080	0-24		
25	123.90	D	M 5	3	Führer	Baumst.	855	2^{10}	200	0.040	0-10		
26	127.00	C	M 1	2	Grubbe	Ansteh.	880	2^{11}	20	0.120	0-30		
27	136.84	C	M 14	2	Eisner	Ansteh.	805	2^{11}	20	0.171	0-16		
28	144.80	A	M 5	1	Schmedes	Block	750	2^{11}	20	0.571	0-13		
29	156.47	C	M 13	1	Lüdtke	Ansteh.	765	2^{10}	20	0.120	0-10		

Profil: LOFER - N

(Angaben zu Schüssen)

Schuß	Datum	Zeit h m s	Koordinaten λ	Koordinaten φ	Höhe (m)	Gesamt Ladung (kg)	Maxim. Ladung /Stufe (kg)	Zahl d. Stufen	Verzögr. /Stufe (ms)	App.-Nr. Registr.
A	22.11.74	11 00 58.106	12°46.905'	47°30.025'	700	1375	1375	momentan		M 7 Will

Profil: LOFER - N

(Angaben zu Spuren)

Spur	Δ (km)	Sch.	App.-Nr.	Kanal	Registr.	Untergr.	Höhe (m)	Verst. Aufn.	Tief-pak (Hz)	Empf. Schr. (V/cm)	Filter (Hz)		Bem.
1	13.20	A	M 8	1	Zinßer	Ansteh.	860	2^{10}	200	2.000	--		
2	19.59	A	M 10	2	Schmedes	Ansteh.	670	2^{10}	20	0.571	--		
3	23.89	A	M 9	3	M'Seddi	Ansteh.	620	2^{11}	200	1.200	0-30		
4	26.99	A	M 4	1	Bühler	Ansteh.	710	2^{10}	200	0.667	0-50		
5	32.19	A	M 2	3	Rankl	Baumst.	900	2^{10}	20	0.171	0-30		
6	34.29	A	M 5	3	Martinez	Baumst.	770	2^{11}	20	0.120	0-24		
7	38.68	A	M 14	3	Thuringer	Baumst.	700	2^{11}	20	0.400	0-16		
8	43.89	A	M 12	3	Schönharting	Baumst.	600	2^{9}	200	0.240	6-24		
9	46.95	A	M 13	3	Gebrande	Baumst.	560	2^{9}	200	0.400	0-24*		*5Hz-Sign. subtrah.

II. PROMOS - Programm für Modellrechnungen der Seismik

Das Programm ist in den technischen Einzelheiten auf die Rechenanlage Telefunken TR 440 mit Benson-Plotter (aber Calcomp-Software zum Plotter!) zugeschnitten.

Die ausgegebenen Listen und Zeichnungen sind in km, sec beschriftet. Dessen ungeachtet kann natürlich in beliebigen Dimensionen gerechnet werden.

II.1. Eingabeanleitung

Alle Felder für die Eingabedaten (außer Text zur Modell-Bezeichnung) sind dynamisch vereinbart. Somit unterliegt der Umfang der einzugebenden Modelle vom Programm her keinen Beschränkungen.

1. TA	'(' ')'	Text zur Modellbezeichnung (max. 80 Zeichen, davon max. 50 in Zeichnungen)
2. MX	INTEGER	MX = 1: konstante X - Intervalle; MX = 2: nicht konstante X - Intervalle
3. E	INTEGER	Zahl der X - Intervalle = Index des letzten X_I (≥ 1)
4. DX	REAL	<u>Bei MX = 1</u> (konstantes) Intervall des X - Rasters
X(I)	REAL	<u>Bei MX = 2</u> X_I des X - Rasters (E+1 Werte; X_0=0 immer; sonst $X_I > 0$)
5. L	INTEGER	Index der letzten Grenzlinie (Zahl der G_N ist L+1, da bei G_0 begonnen wird)
6. GL	INTEGER	Zahl der G_N, über denen Gradient (GL ≥ 0)
7. Z(N,I)	REAL	Z - Werte der G_N; G_N-weise, von G_0 bis G_N; (E+1)•(L+1) Werte; Z(N,I) $\geq$ Z(N-1,I) immer! <u>Marken:</u> $_{10}8$: dort G_N nicht definiert (d.h. G_N identisch G_{N-1}) $-_{10}7$: dort G_N Gerade Einzugeben ist jeweils die Marke und anschließend die (INTEGER-) Zahl der X_I - Stellen, an denen die Marke gilt (auch, wenn diese Zahl = 1 ist). Beliebige Kombinationen der Marken sind zulässig.
8. V(N)	REAL	G_N-weise eingeben: (insgesamt L+5•GL Werte)
AX(N)	REAL	<u>wenn V_N = konst.:</u> Geschwindigkeit V_N
AZ(N)	REAL	<u>wenn $V_N \neq$ konst. ($V = V_0 + GV \cdot Z'$):</u>
BX(N)	REAL	(1) $-V_0$(N), (2) AX(N), (3) AZ(N), (4) BX(N), (5) BZ(N), (6) GV(N);
BZ(N)	REAL	(AX,AZ) und (BX,BZ) = 2 Punkte der Geraden, auf der $V=V_0$, auf der GV (= GRAD(V)) also
GV(N)	REAL	senkrecht. Ausgedruckt werden $Z(X_0)$ und $Z(X_E)$ dieser Geraden. Das positive V_0 wird negativ eingegeben als Marke, daß Gradient vorliegt.
9. VRED	REAL	Reduktionsgeschwindigkeit (für Ausgabe Laufzeitkurve) VRED=$_{10}10$: Laufzeitkurve wird unreduziert gezeichnet und T-Achse entsprechend beschriftet. Negatives Vorz.: Kreuze der Laufzeitkurve werden verbunden (in Reihenfolge der Strahlen).

10. XA	REAL	X - Koordinate Schußpunkt	beliebig innerhalb oder am Rand des Modells
11. ZA	REAL	Z - Koordinate Schußpunkt	
12. WZ	INTEGER	Zahl der Winkelgruppen	
13. WA(K)	REAL	WA = erster Winkel, DW = Winkelintervall, WB = letzter Winkel einer Gruppe (WZ-mal).	
DW(K)	REAL	Winkel gegen X-Achse (in Grad; - nach oben, + nach unten). Die Winkel werden errechnet	
WB(K)	REAL	mit WA+n•DW; dabei darf $\pm 180°$ nicht überschritten werden ($-180° \leq \gamma \leq +180°$ für alle γ).	
14. PM	INTEGER	Dreistellige Zahl, deren Betrag angibt, welche Zeichnungen anzufertigen sind.	

1.Stelle: Modell, 2.Stelle: Laufwege, 3.Stelle: Laufzeitkurve.
1: Zeichnung, 0: keine Zeichnung; 1.Stelle = 2: Modell + Laufwege eine Zeichnung.
1.Stelle = 1: bei V_N = konst. und $Z_N - Z_{N-1} \geq 0.28$ wird V_N ins Modell eingetragen.
Vorzeichen PM: PM $\geq$ 0: Laufwege werden nicht, PM $<$ 0: Laufwege werden ausgedruckt.

<u>Die folgenden Werte sind auch bei PM = 000 einzugeben!</u> (detaillierte Erläuterungen nächste Seite)

15. FAX	REAL	Faktor für X-, Z-, DELTA-Achse
16. FAT	REAL	Faktor für T-Achse
17. FX	REAL	Maßstab für X-, DELTA-Achse (1cm = FX)
18. FZ	REAL	Maßstab für Z-Achse (1cm = FZ)
19. FT	REAL	Maßstab für T-Achse (1cm = FT)
20. MIZ	REAL	Minim. Wert auf Z-Achse (oben)
21. MAZ	REAL	Maxim. Wert auf Z-Achse (unten)
22. MIT	REAL	Minim. Wert auf T-Achse (unten)
23. MAT	REAL	Maxim. Wert auf T-Achse (oben)
24. PE	INTEGER	Index des ersten zu zeichnenden Punktes der Strahlen ($0 \leq$ PE)

Erläuterungen zu "Plotter-Daten" (15-24):

A. Die Werte 15-23 immer mit Dezimalpunkt eingeben (es sind Parameter vom Typ REAL in FORTRAN-Prozeduren).

B. Max. Plotterbreite = 33.5 cm ⟶ Länge der vertikalen Achsen muß ≤ 30 cm sein.
Länge Z-Achse: ZLEN = (MAZ-MIZ)/FZ; Länge T-Achse: TLEN = (MAT-MIT)/FT.

C. Max. Gesamtlänge aller Zeichnungen pro Lauf = 200 cm ⟶

Zahl der Einzelzeichnungen pro Lauf:	1	2	3
Max. Länge pro Einzelzeichnung (cm):	190	87.5	53.3

D. Achsenzeichnungen

Achse	Abstand Striche	1.Wert	weitere Werte	Schriftgröße	
				Zahlen	Text
Z	FAX cm	MAZ	MAZ-n•FAX•FZ	FAX•0,1 cm	FAX•0,14 cm
X,DELTA	FAX cm	0	n•FAX•FX	FAX•0,1 cm	FAX•0,14 cm
T	FAT cm	MIT	MIT+n•FAT•FT	FAT•0,1 cm	FAT•0,14 cm

Mit |MAT| = n•FAX•FZ, |MIT| = n•FAT•FT und n•FAX•FZ, n•FAX•FX, n•FAT•FT ganzzahlig: ganze Zahlen an den Achsen.

E. Größe der Kreuze bei Laufzeiten ≈ FAT•0,08 cm; um Randüberschreitungen zu vermeiden, werden nur für Laufzeiten T_K mit MIT ≤ T_K ≤ MAT Kreuze gezeichnet.

F. PE = n: Strahlwege werden vom jeweils n-ten Punkt eines Strahles an gezeichnet.
PE = 0 (Strahlen vom Schußpunkt aus) kann zu Papierzerstörung führen, wenn viele Strahlen zu zeichnen sind.
Bei PE > 0 wird der Schußpunkt in der Laufwege-Zeichnung mit dem Symbol ✱ markiert.

Zahlenformate im Ausdruck:

X, Z, DELTA	Grenzlinien-Nr., Strahl-Nr.	Geschw., Laufzeiten	Reduz.Laufz., Gradienten, Winkel
-ZZD.DD	ZZD	ZZD.3D	-ZZD.3D

Beispiel für Kartenstapel bei Rechnung mit 2 Datensätzen (mit Zeichnungen, ohne Programm-Protokoll):

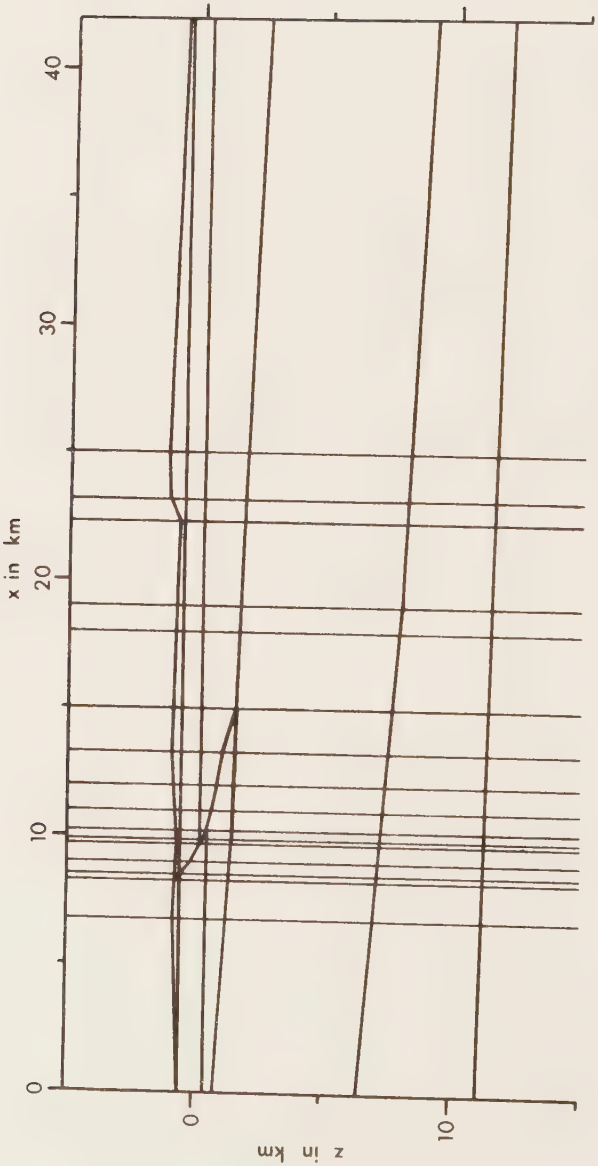
Programm aus LFD	Programm als Kartenstapel
1.(rot) Begleit-Karte (Ankreuzen LFD, PLOTTER)	1.(rot) Begleit-Karte (Ankreuzen PLOTTER)
2.(blau/weiß) BKZ-Karte	2.(blau/weiß) BKZ-Karte
3.(rot) Spezifikationskarte	3.(rot) Spezifikationskarte
4.(blau) $LFANMELDE,LE.=U727.PROMOS	4.(blau) $UEBERSETZE,SPR.=ALG60,PROT.=-,QUELLE=/
5.(blau) $UEBERSETZE,SPR.=ALG60,PROT.=-,QUELLE=PROMOS	5. --- Programmstapel ---
6.(blau) $MONTIERE	6.(blau) $MONTIERE
7.(blau) $STARTE,DATEN=/	7.(blau) $STARTE,DATEN=/
8. --- Datensatz 1 ---	8. --- Datensatz 1 ---
9.(blau) $ZEICHNE,GERAET=PL,DATEI=STDPLD(1.0)	9.(blau) $ZEICHNE,GERAET=PL,DATEI=STDPLD(1.0)
10.(blau) $STARTE,DATEN=/	10.(blau) $STARTE,DATEN=/
11. --- Datensatz 2 ---	11. --- Datensatz 2 ---
12.(blau) $ZEICHNE,GERAET=PL,DATEI=STDPLD(1.0)	12.(blau) $ZEICHNE,GERAET=PL,DATEI=STDPLD(1.0)
13.(gelb) XEN-Kommando	13.(gelb) XEN-Kommando

II.2. Beispiel

Als Beispiel für die Ein- und Ausgabe wurde hier das für das Profil Rohrdorf-S abgeleitete Modell verwendet, weil es trotz seines einfachen Aufbaus einige wichtige Merkmale der Modell-Darstellung aufzeigt.

Im Bild des einzugebenden Modells auf S. 124 ist das x-Raster eingezeichnet. (Die Geschwindigkeitsverteilung ist in der Abb. 21 dieser Arbeit dargestellt).

Auf S. 125, 126 folgen die einzugebenden Daten.- Das Rechner-Protokoll ist auf den Seiten 127 - 129 angeführt. - Die "Plots" (Modell + Strahlen und Laufzeitkurve) befinden sich auf S. 130, 131.


0
10
20
30
40
x in km
0
10
z in km

TA:	'(' P R O M O S: BEISPIEL ')',

MX	E	bei MX = 1: DX	bei MX = 2: X(I), ...
2,	17,	----,	0, 6.8, 8.3, 8.5, 9, 9.75, 9.9, 1o.25, 11, 12, 13.3, 15, 18, 19, 22.3, 23.2, 25, 42,

noch X(I), ...

L	GL
8,	8,

Z(N,I) s. Rückseite

V(N) bzw. -V1(N), AX, AZ, BX, BZ, GV(N), ...

(1)	(2)	(3)	(4)
-4.2 o -0.55 1 -0.55 0.001	-5.6 o 0.24 1 0.24 1.392	-6.4 o 2.4 1 2.4 0.37	-3.4 o -0.58 1 -0.58 0.001

noch V(N) bzw. -V1(N), AX, AZ, BX, BZ, GV(N), ...

(5)	(6)	(7)	(8)
-4.2 o 0.42 1 0.42 0.7	-4.2 o 0.42 1 0.42 0.17	-4.2 o 5.4 42 9 0.12	-6.15 o 11 42 12 0.03

VRED	XA	ZA	WZ	WA(K), DW(K), WB(K), ...
6,	o,	-0.57,	4,	3.5 7.7 26 33 0.5 34 4o 6 46 53 1 6o

noch WA(K), DW(K), WB(K), ...

PM
211,

FAX	FAT	FX	FZ	FT	MIZ	MAZ	MIT	MAT	PE
3.o,	3.o,	2.o,	2.o,	o.5,	-5.99,	12.o,	-1.5,	5.o,	4,

G_o: -o.58 -o.86 $-1o^7$ 4 -o.64 $-1o^7$ 3 -o.96 $-1o^7$ 3 -o.67
-1.o7 -1.16 -o.75

G_1: $1o^8$ 3 -o.55 $-1o^7$ 13 -o.55

G_2: $1o^8$ 4 -o.15 o.24 $-1o^7$ 11 o.24

G_3: $1o^8$ 6 $-1o^7$ 1 o.42 o.65 o.85 1.11 1.65 $-1o^7$ 5 2.5

G_4: -o.58 $-1o^7$ 2 $1o^8$ 15

G_5: o.42 $-1o^7$ 6 $1o^8$ 11

G_6: o.8 $-1o^7$ 5 1.5 $-1o^7$ 4 $1o^8$ 7

G_7: 6.4 $-1o^7$ 12 8 $-1o^7$ 3 9

G_8: 11 $-1o^7$ 16 12

P R O M C S: BEISPIEL

M O D E L L

ZUGEHOERIGE Z-WERTE DER GRENZLINIE NR.

X-WERTE	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0,00	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58	0,42	0,90	6,40	11,00
6,80	-0,86	-0,86	-0,86	-0,86	-0,56	0,42	1,28	6,97	11,16
8,30	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,55	0,42	1,39	7,10	11,20
8,50	-0,74	-0,55	-0,55	-0,55	-0,55	0,42	1,40	7,12	11,20
9,00	-0,70	-0,55	-0,15	-0,15	-0,15	0,42	1,44	7,16	11,21
9,75	-0,65	-0,55	0,24	0,24	0,24	0,42	1,49	7,22	11,23
9,90	-0,64	-0,55	0,24	0,29	0,29	0,42	1,50	7,23	11,24
10,25	-0,67	-0,55	0,24	0,42	0,42	0,42	1,51	7,26	11,24
11,00	-0,74	-0,55	0,24	0,65	0,65	0,65	1,53	7,33	11,26
12,00	-0,84	-0,55	0,24	0,85	0,85	0,85	1,55	7,41	11,29
13,30	-0,96	-0,55	0,24	1,11	1,11	1,11	1,58	7,52	11,32
15,00	-0,91	-0,55	0,24	1,62	1,62	1,62	1,62	7,66	11,36
18,00	-0,81	-0,55	0,24	1,72	1,72	1,72	1,72	7,92	11,43
19,00	-0,78	-0,55	0,24	1,75	1,75	1,75	1,75	8,00	11,45
22,30	-0,67	-0,55	0,24	1,86	1,86	1,86	1,86	8,14	11,53
23,20	-1,07	-0,55	0,24	1,89	1,89	1,89	1,89	8,18	11,55
25,00	-1,16	-0,55	0,24	1,95	1,95	1,95	1,95	8,26	11,60
42,00	-0,75	-0,55	0,24	2,50	2,50	2,50	2,50	9,00	12,00
GESCHW.:		GRAD.	GRAD.	GRAD.	GRAD.	GRAD.	GRAD.	GRAD.	GRAD.
VO :		4,200	5,600	6,400	3,400	4,200	4,200	4,200	6,150
GRAD V :		0,001	1,392	0,370	0,001	0,700	0,170	0,120	0,030
Z(XLOI):		-0,55	0,24	2,40	-0,58	0,42	0,42	5,40	11,00
Z(XLEI):		-0,55	0,24	2,40	-0,58	0,42	0,42	9,00	12,00

P K O M C S: BEISPIEL
==========

S C H U S S P U N K T -
K O O R D I N A T E N

X = 0,00 Z = -0,57

A B S T R A H L W I N K E L

ZAHL DER WINKELGRUPPEN	ERSTER WINKEL	WINKELINTERVALL	LETZTER WINKEL
4	3,500	7,700	26,000
	33,000	0,500	34,000
	40,000	6,000	46,000
	53,000	1,000	60,000

P L O T T E R - D A T E N

PM = 211

FAX = 3,000 FAT = 3,000 FX = 2,000 FZ = 2,000 FT = 0,500

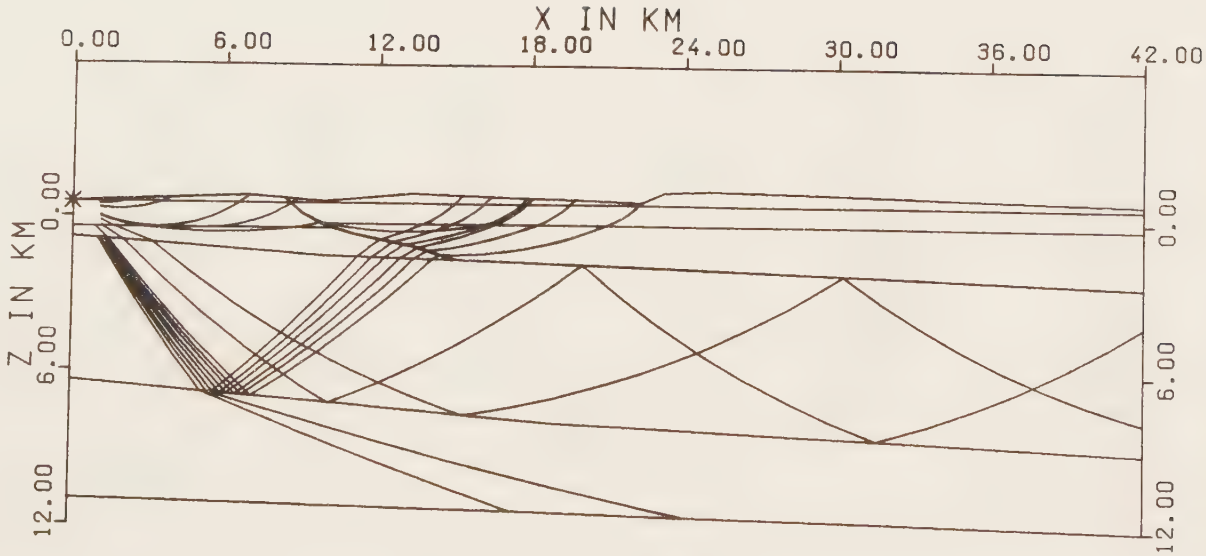
MAZ = -5,99 MAZ = 12,00 MIT = -1,500 MAT = 3,000 FE = 4

P R O M C S: BEISPIEL

L A U F Z E I T K U R V E

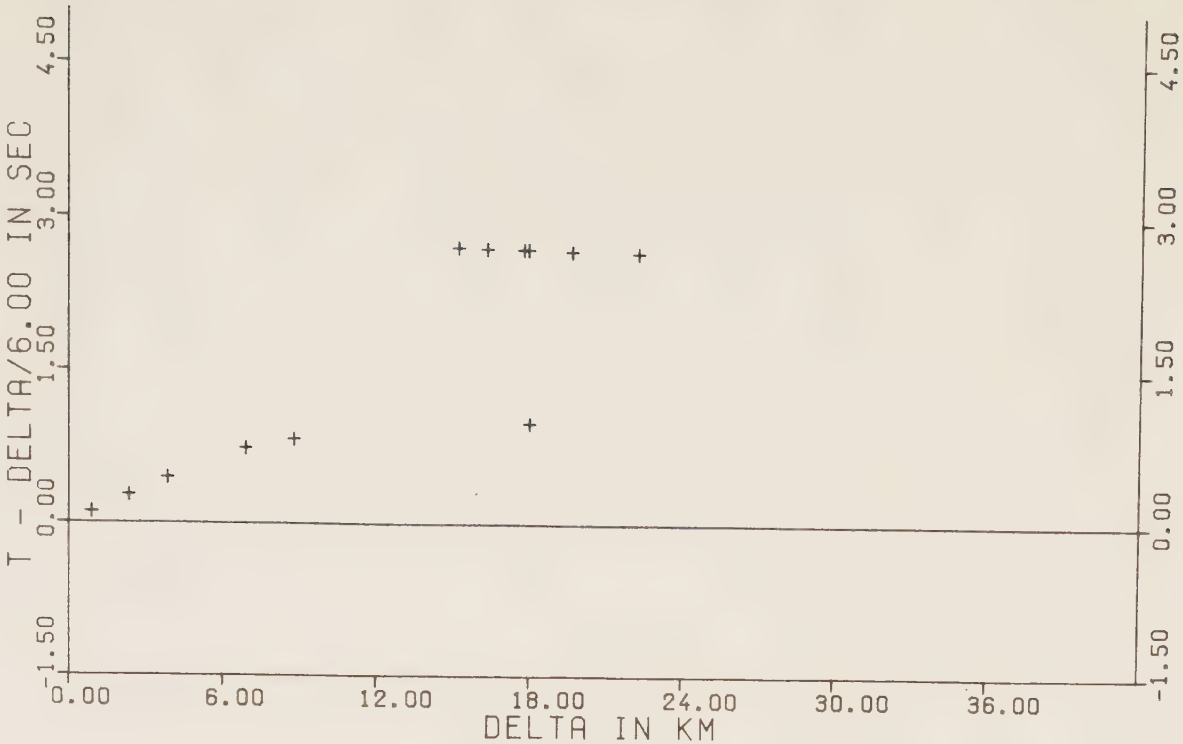
STRAHL NR.	ABSTRAHL -WINKEL (GRAD)	Z	X	DELTA X = SCHUSS-X	LAUFZEIT T	REDUZIERTE LAUFZEIT T = DELTA/6.000
0	3.500	-0.62	0.86	0.86	0.249	0.105
1	11.200	-0.68	2.32	2.32	0.664	0.278
2	18.900	-0.74	3.81	3.81	1.083	0.448
3	33.000	-0.85	6.90	6.90	1.888	0.738
4	33.500	-0.72	8.79	8.79	2.295	0.821
5	34.000	-0.81	18.00	18.00	3.994	0.995
6	40.000	7.79	42.00	---	11.854	***
7	46.000	4.03	42.00	---	12.383	***
8	53.000	-0.67	22.27	22.27	6.381	2.671
9	54.000	-0.75	19.68	19.68	5.967	2.687
10	55.000	-0.81	17.98	17.98	5.694	2.698
11	56.000	-0.81	17.81	17.81	5.665	2.698
12	57.000	-0.86	16.35	16.25	5.431	2.705
13	58.000	-0.90	15.24	15.24	5.253	2.713
14	59.000	11.57	23.90	---	5.445	***
15	60.000	11.41	17.28	---	4.400	***

*** STRAHL ERREICHT ERDOBERFLAECHE NICHT



P R Ø M Ø S. BEISPIEL

P R O M O S. BEISPIEL



II.3. Programm-Text

Anmerkung: Das Zeichen ↑ (Potenzieren) ist im Drucker-Code nicht enthalten und wird daher mit dem Zeichen ! wiedergegeben.

```
'BEGIN'
'COMMENT'
PROMOS - PROGRAMM FUER MODELLRECHNUNGEN DER SEISMIK - 2.VERSION
==============================================================


A  VEREINBARUNGEN, EINLESEN - BERECHNUNG MODELL, ABSTRAHLWINKEL;


'INTEGER' E, GL, I, IA, K, L, LI, MX, M, N, NA, N1, N2, PM, PE, RE, RX,
          RZ, R, RMAX, RW, RS, RL, WZ, W;
'REAL' AZ, AX, BZ, BX, DX, FX, FZ, FT, FAX, FAT, GH, MIZ, MAZ, MIT, MAT,
       PI, RAD, SH, VRED, V0, V1, V2, XA, XLEN, X0, XM, ZA, ZLEN, Z0,
       ZM, ZL, ZR, DACHS;
'BOOLEAN' B1, B2, B3, C, H;
'ARRAY' T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7[1:6], TA[1:20], TF[1:30];
'PROCEDURE' STRING(X); 'CODE';
'PROCEDURE' PLOT(X); 'FORTRAN';
'PROCEDURE' AXIS(X); 'FORTRAN';
'PROCEDURE' LINE(X); 'FORTRAN';
'PROCEDURE' FACTOR(X); 'FORTRAN';
'PROCEDURE' NUMBER(X); 'FORTRAN';
'PROCEDURE' SYMBOL(X); 'FORTRAN';
STRING (1,'('X IN KM')',T1);
STRING (1,'('Z IN KM')',T2);
STRING (1,'('DELTA IN KM')',T3);
STRING (1,'(' ')',T4);
STRING (1,'('T - DELTA/')',T5);
STRING (1,'(' IN SEC')',T6);
STRING (1,'('T IN SEC')',T7);
PI:=3.14159265359;
READ (TA,MX,E);
 'BEGIN'
 'ARRAY' X,ZP[0:E+2];
 'IF' MX = 1
 'THEN' READ (DX);
 'FOR' I:=0 'STEP' 1 'UNTIL' E 'DO'
 'IF' MX = 1
 'THEN' X[I]:=I*DX
 'ELSE' READ (X[I]);
 READ (L,GL); RMAX:=4*L+2*E+500;
  'BEGIN'
  'ARRAY' Z[0:L,0:E], V,ZGL,ZGR,GV[1:L], XS,ZS[0:RMAX];
  'REAL' 'PROCEDURE' WD(I,X,Z);
  RW:=2*ARCSIN(SQRT((ABS(XS[I])-X)↑2+(ZS[I]-Z)↑2)/(2*ABS(RAD)));
  'FOR' M:=0 'STEP' 1 'UNTIL' L 'DO'
  'FOR' I:=0 'STEP' 1 'UNTIL' E 'DO'
  'BEGIN'
  READ (Z[M,I]);
```

```
'IF' Z[N,I] > '7
'THEN' 'BEGIN'
        MARK 0;
        READ (RE);
        'FOR' M:=I 'STEP' 1 'UNTIL' I+RE-1 'DO'
        Z[N,M]:=Z[N-1,M];
        I:=I+RE-1
        'END';
'IF' Z[N,I] < -'6
'THEN' 'BEGIN'
        READ (RE); C:='FALSE';
        LI:=I-1; RE:=I+RE;
        READ (Z[N,RE]);
        'IF' Z[N,RE] > '7
        'THEN' 'BEGIN'
                Z[N,RE]:=Z[N-1,RE];
                C:='TRUE'
                'END';
        'FOR' M:=LI+1 'STEP' 1 'UNTIL' RE-1 'DO'
        Z[N,M]:=Z[N,LI]+(X[M]-X[LI])*(Z[N,RE]-Z[N,LI])/(X[RE]-X[LI]);
        I:=RE;
        'IF' C 'THEN' 'GOTO' MARK 0
        'END'
'END';
'FOR' N:=1 'STEP' 1 'UNTIL' L 'DO'
'BEGIN'
READ (V[N]);
'IF' V[N] < 0
'THEN' 'BEGIN'
        READ (AX,AZ,BX,BZ,GV[N]);
        ZGL[N]:=AZ-AX*(BZ-AZ)/(BX-AX);
        ZGR[N]:=ZGL[N]+X[E]*(BZ-AZ)/(BX-AX)
        'END'
'END';
READ (VRED,XA,ZA,WZ); MX:=-SIGN(VRED); VRED:=ABS(VRED);
 'BEGIN'
 'ARRAY' WA,DW,WB[1:WZ];
 N:=-1;
 'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' WZ 'DO'
 'BEGIN'
 READ (WA[I],DW[I],WB[I]);
 N:=N+1+ENTIER((WB[I]-WA[I])/DW[I]+'-6)
 'END';
  'BEGIN'
  'ARRAY' AW,T,ZSL[0:W], XSL[0:W+2];
  M:=0;
  'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' WZ 'DO'
  'FOR' K:=0 'STEP' 1 'UNTIL' (WB[I]-WA[I])/DW[I]+'-6 'DO'
  'BEGIN'
  AW[M]:=WA[I]+K*DW[I];
  M:=M+1
  'END';
  READ (PN,FAX,FAT,FX,FZ,FT,MIZ,MAZ,MIT,MAT,PE);
```

```
A1 AUSGABE MODELL;

    'FOR' LI:=0 'STEP' 13 'UNTIL' L 'DO'
    'BEGIN'
    'IF' L > LI+12
    'THEN' RE:=LI+12
    'ELSE' RE:=L;
    'IF' LI > 0
    'THEN' PAGE;
    OUTPUT(6,'('3/')'); WRITE(TA);
    OUTPUT(6,'('/,50('('='))',5/'('M O D E L L')',
              5/13B'('ZUGEHOERIGE Z-WERTE DER GRENZLINIE NR.')'/,
              '('X-WERTE')'/,9B')');
    'FOR' N:=LI 'STEP' 1 'UNTIL' RE 'DO'
    OUTPUT(6,'('6BZZD')',N);
    OUTPUT(6,'('//')');
    'FOR' I:=0 'STEP' 1 'UNTIL' E 'DO'
    'BEGIN'
    OUTPUT(6,'('/-ZZD.DD4B')',X[I]);
    'FOR' N:=LI 'STEP' 1 'UNTIL' RE 'DO'
    OUTPUT(6,'('2B-ZZD.DD')',Z[N,I])
    'END';
    OUTPUT(6,'('//'('GESCHW.:    ')''')');
    'FOR' N:=LI 'STEP' 1 'UNTIL' RE 'DO'
    'IF' N = 0
    'THEN' OUTPUT(6,'('''('            ')''')')
    'ELSE' 'IF' V[N] < 0
           'THEN' OUTPUT(6,'('''('     GRAD.')''')')
           'ELSE' OUTPUT(6,'('2BZZD.3D')',V[N]);
    'IF' GL 'NOTEQUAL' 0
    'THEN' 'BEGIN'
           'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 4 'DO'
           'BEGIN'
           'SWITCH' SWA:=SA1,SA2,SA3,SA4;
           'GOTO' SWA[I];
           SA1: OUTPUT(6,'('/'('     VO :    ')''')');
                'GOTO' SWAEND;
           SA2: OUTPUT(6,'('/'('GRAD V :    ')''')');
                'GOTO' SWAEND;
           SA3: OUTPUT(6,'('/'('Z(X[0]):    ')''')');
                'GOTO' SWAEND;
           SA4: OUTPUT(6,'('/'('Z(X[E]):    ')''')');
           SWAEND:
           'FOR' N:=LI 'STEP' 1 'UNTIL' RE 'DO'
           'BEGIN'
           'IF' N = 0
           'THEN' OUTPUT(6,'('''('            ')''')')
           'ELSE' 'IF' V[N] < 0
                  'THEN' 'BEGIN'
                         'SWITCH' SWB:=SB1,SB2,SB3,SB4;
                         'GOTO' SWB[I];
                         SB1: OUTPUT(6,'('2BZZD.3D')',-V[N]);
                              'GOTO' SWBEND;
                         SB2: OUTPUT(6,'('B-ZZD.3D')',GV[N]);
                              'GOTO' SWBEND;
```

```
                    S 3: OUTPUT(6,'('2B-ZZD.DD')',ZGL[N]);
                         'GOTO' SWBEND;
                    S64: OUTPUT(6,'('2B-ZZD.DD')',ZGR[N]);
                    SWBEND:
                    'END'
              'ELSE' OUTPUT(6,'('('                    ')')')
        'END'
        'END'
        'END'
'END';
OUTPUT(6,'('*3/')'); WRITE(TA); OUTPUT(6,'('/,50('('=')')')');
OUTPUT(6,'('5/'('S C H U S S P U N K T -')'/,
        '('K O O R D I N A T E N')'3/')');
OUTPUT(6,'('('X = ')'-ZZD.DD,'('     Z = ')'-ZZD.DD')',XA,ZA);
OUTPUT(6,'('///////'('A B S T R A H L W I N K E L')'////,
      '('ZAHL DER WINKELGRUPPEN          ERSTER WINKEL    ')',
      '('WINKELINTERVALL   LETZTER WINKEL')'//,10BZD=')',WZ);
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' WZ 'DO'
OUTPUT(6,'('32B-ZZD.3D,9B-ZZD.3D,10B-ZZD.3D/')',WA[I],DW[I],WB[I]);
OUTPUT(6,'('///////'('P L O T T E R  -  D A T E N')'////,
      '('PM =')'-3D//,'('FAX =')'-ZD.3D3B,'('FAT =')'-ZD.3D8B,
      '('FX =')'-ZD.3D3B,'('FZ =')'-ZD.3D3B,'('FT =')'-ZD.3D//,
      '('MIZ =')'-ZZD.DD3B,'('MAZ =')'-ZZD.DD8B,'('MIT =')',
      -ZZD.3D3B,'('MAT =')'-ZZD.3D3B,'('PE =')'ZZD')',
      PM,FAX,FAT,FX,FZ,FT,MIZ,MAZ,MIT,MAT,PE);
DX:=SIGN(PM); PM:=ABS(PM);
'IF' DX <= 0
'THEN' 'BEGIN'
        OUTPUT(6,'('*3/')'); WRITE(TA);
        OUTPUT(6,'('/,50('('=')')),5/')');
        OUTPUT(6,'('('L A U F W E G E  D E R  S T R A H L E N')'3/,
                '('(X,Z) - WERTE DER SCHNITTPUNKTE')',
                '(' IN ZEITLICHER FOLGE')'//')')
        'END';
'IF' (MAZ-MIZ)/FZ > 30 'OR' (MAT-MIT)/FT > 30
'THEN' C:='FALSE'
'ELSE' C:='TRUE';
'IF' C 'AND' PM > 0
'THEN' 'BEGIN'
        STRING(1,TA,TF);
        PLOT(5.0,1.5,-3);
        XLEN:=X[E]/FX/FAX; ZLEN:=(MAZ-MIZ)/FZ/FAX
        'END';
'IF' C 'AND' PM > 90
'THEN' 'BEGIN'
        FACTOR(FAX);
        DACHS:=-FAX*FZ;
        AXIS(0.0,ZLEN,T1,7,XLEN,0.0,0.0,FAX*FX);
        AXIS(0.0,0.0,T2,7,ZLEN,90.0,MAZ,DACHS);
        AXIS(XLEN,0.0,T4,-1,ZLEN,90.0,MAZ,DACHS);
        X[E+1]:=0.0; X[E+2]:=FAX*FX;
        ZP[E+1]:=0.0; ZP[E+2]:=FAX*FZ;
        'FOR' N:=0 'STEP' 1 'UNTIL' L 'DO'
        'BEGIN'
        'FOR' I:=0 'STEP' 1 'UNTIL' E 'DO'
```

```
        ZP[I]:=MAZ-Z[N,I];
        LINE(X,ZP,E+1,1,0,0)
        'END';
        FACTOR(1.0);
        SYMBOL(X[E]/FX/3,-1.0,0.28,TF,0.0,50)
        'END';
'IF' C 'AND' ENTIER(PM/100) = 1
'THEN' 'BEGIN'
        'FOR'  :=1 'STEP' 1 'UNTIL' L 'DO'
        'BEGIN'
        'IF' V[N] > 0
        'THEN' 'BEGIN'
                LI:=-1; RE:=E;
                'FOR' I:=0 'STEP' 1 'UNTIL' E 'DO'
                'IF' LI < 0
                'THEN' 'BEGIN'
                        'IF' (Z[N,I]-Z[N-1,I])/FZ > 0.28
                        'THEN' LI:=I
                        'END'
                'ELSE' 'IF' (Z[N,I]-Z[N-1,I])/FZ < 0.28
                        'THEN' 'BEGIN'
                                RE:=I; I:=E+1
                                'END';
                'IF' LI > -1
                'THEN' 'BEGIN'
                        'IF' LI > 0
                        'THEN' LI:=LI-1;
                        X0:=(X[LI]+X[RE])/2;
                        'FOR' I:=0 'STEP' 1 'UNTIL' E 'DO'
                        'IF' X0 'NOTLESS' X[I]
                        'THEN' LI:=I;
                        X0:=(X[LI]+X[LI+1])/2;
                        Z0:=MAZ-((Z[N,LI]+Z[N,LI+1])/2
                            +(Z[N-1,LI]+Z[N-1,LI+1])/2)/2-0.14*FZ;
                        NUMBER(X0/FX,Z0/FZ,0.28,V[N],0.0,2)
                        'END'
                'END'
        'END'
        'END';
'IF' C 'AND' ENTIER(PM/10) = 11
'THEN' PLOT(XLEN*FAX+15.0,0.0,-3);
'IF' C 'AND' (PM-100*ENTIER(PM/100)) > 9 'AND' PE > 0
'THEN' SYMBOL(XA/FX,(MAZ-ZA)/FZ,0.10*FAX,11,0.0,-1);
'IF' C 'AND' ENTIER(PM/10) = 11 'OR' ENTIER(PM/10) = 1
'THEN' 'BEGIN'
        SYMBOL(X[E]/FX/3,-1.0,0.28,TF,0.0,50);
        FACTOR(FAX);
        DACHS:=-FAX*FZ;
        AXIS(0.0,ZLEN,T1,7,XLEN,0.0,0.0,FAX*FX);
        AXIS(0.0,0.0,T2,7,ZLEN,90.0,MAZ,DACHS);
        AXIS(XLEN,0.0,T4,-1,ZLEN,90.0,MAZ,DACHS)
        'END';
```

```
5  "BERECHNUNG DER LAUFWEGE UND LAUFZEITEN:

   AX:=XA; S1:='FALSE';
   'FOR' I:=0 'STEP' 1 'UNTIL' E 'DO'
   'BEGIN'
   'IF' ABS(XA-X[I]) < '-9
   'THEN' 'BEGIN'
          XA:=X[I]+SIGN(E-I-1/2)*(1-SIGN(X[I])+X[I])*'-8;
          S1:='TRUE'
          'END';
   'IF' XA > X[I]
   'THEN' IA:=I
   'ELSE' I:=E
   'END';
   RE:=L;  :=L+1;
   'FOR' N:=N-1 'WHILE' Z[N,IA] = Z[N-1,IA]
   'AND' Z[N,IA+1] = Z[N-1,IA+1] 'DO' RE:=N-1;
   'FOR' N:=0 'STEP' 1 'UNTIL' RE 'DO'
   'BEGIN'
   ZL:=Z[N,IA]+(AX-X[IA])*(Z[N,IA+1]-Z[N,IA])/(X[IA+1]-X[IA]);
   'IF' B1
   'THEN' 'BEGIN'
          ZR:=ZL;
          ZL:=Z[N,IA]+(XA-X[IA])*(Z[N,IA+1]-Z[N,IA])/(X[IA+1]-X[IA]);
          'IF' ABS(ZA-ZR) < '-9
          'THEN' ZA:=ZL
          'END';
   'IF' ABS(ZA-ZL) < '-9
   'THEN' ZA:=ZA+SIGN(RE-N-1/2)*(1-(SIGN(ZA))!2+ABS(ZA))*'-8;
   'IF' ZA > ZL
   'THEN' IA:=N
   'ELSE' N:=RE
   'END';


   'FOR' K:=0 'STEP' 1 'UNTIL' 9 'DO'
   'BEGIN'
   SH:=PI*AW[K]/180;
   RX:='IF' ABS(PI/2-ABS(SH)) < '-9 'THEN' 0 'ELSE' SIGN(PI/2-ABS(SH));
   'IF' RX = -1
   'THEN' SH:=-SIGN(SH)*(PI-ABS(SH));
   RZ:=1;
   N:=IA; I:=IA;
   R:=0; T[K]:=0;
   XS[R]:=XA; ZS[R]:=ZA;


   MARK 1:
   'IF' R+3 > RMAX
   'THEN' 'GOTO' STRAHLABBRUCH;
   R:=R+1;
   LI:=N+(RZ-1)/2; RE:=N+(RZ+1)/2;
   B1:=B2:=B3:=H:='FALSE';
```

```
KREIS:

'IF' V[RE] < 0
'THEN' 'BEGIN'
        GH:=ARCTAN((ZGL[RE]-ZGL[RE])/X[E]);
        XM:=XS[R-1]; ZM:=ZS[R-1];
        VO:=GV[RE]*((ZO-ZGL[RE])*COS(GH)-XO*SIN(GH))-V[RE];
        'IF' VO 'NOTGREATER' 0
        'THEN' 'BEGIN'
                B3:='TRUE'; 'GOTO' PROGRAMMABBRUCH
                'END';
        'IF' ABS(ABS(SH-GH)-PI/2) < '-9
        'THEN' 'BEGIN'
                B1:='TRUE'; 'GOTO' GERADE
                'END';
        SH:=PI/2-(SH-GH);
        'IF' ABS(SH-PI/2) < '-9
        'THEN' 'BEGIN'
                XM:=XO+SIN(GH)*VO/GV[RE];
                ZM:=ZO-COS(GH)*VO/GV[RE]
                'END'
        'ELSE' 'BEGIN'
                XM:=XO+COS(GH)*VO/(GV[RE]*TAN(SH))+SIN(GH)*VO/GV[RE];
                ZM:=ZO-COS(GH)*VO/GV[RE]+SIN(GH)*VO/(GV[RE]*TAN(SH))
                'END';
        RAD:=VO/(GV[RE]*SIN(SH));
        R:=R-1;
        'IF' XO = XM
        'THEN' SH:=SIGN(ZO-ZM)*PI/2
        'ELSE' SH:=ARCTAN((ZO-ZM)/(XO-XM));
        'IF' XO < XM
        'THEN' RW:=-1
        'ELSE' RW:=1;
        RS:=SIGN(RAD)*SIGN(-RX-1/2);
        MARK 2:
        'IF' R+3 > RMAX
        'THEN' 'BEGIN'
                XS[R]:=ABS(XS[R]);
                B2:='TRUE'; 'GOTO' ZEIT 1
                'END';
        R:=R+1;
        SH:=SH+RS*PI/60;
        XS[R]:=-XM-RW*ABS(RAD)*COS(SH);
        ZS[R]:=ZM+RW*ABS(RAD)*SIN(SH);
        I:='IF' -XS[R] > X[I+1] 'THEN' I+1
           'ELSE' ('IF' -XS[R] < X[I] 'THEN' I 'ELSE' -1);
        'IF' M > -1
        'THEN' 'BEGIN'
                XS[R]:=SQRT(RAD!2-(X[M]-XM)!2);
                'IF' (ZS[R-1]-ZM)*(ZS[R]-ZM) > 0
                'THEN' ZS[R]:=ZM+SIGN(ZS[R]-ZM)*XS[R]
                'ELSE' 'BEGIN'
                        AZ:=ZM+XS[R];
                        'IF' (AZ-ZS[R-1])*(ZS[R]-AZ) 'NOTLESS' 0
                        'THEN' ZS[R]:=AZ
```

```
                'ELSE' ZS[R]:=Z'-XS[R]
                'END';
        XS[R]:=-X[I];
        SU:=SU-RS*PI/90
        'END';
ZL:=Z[LI,I]+(XS[R]+X[I])*(Z[LI,I+1]-Z[LI,I])/(X[I]-X[I+1]);
ZR:=Z[RE,I]+(XS[R]+X[I])*(Z[RE,I+1]-Z[RE,I])/(X[I]-X[I+1]);
'IF' ZS[R] > ZL 'AND' ZS[R] < ZR
'THEN' 'BEGIN'
        'IF' M = 0 'OR' M = E
        'THEN' 'BEGIN'
                XS[R]:=ABS(XS[R]);
                BZ:='TRUE'; 'GOTO' ZEIT 1
                'END';
        I:=I+('IF' M = -1 'THEN' 0
           'ELSE' ('IF' M = I 'THEN' -1 'ELSE' 1));
        'GOTO' MARK 2
        'END';
'IF' RZ = 1 'AND' ZS[R] <= ZL 'OR' RZ = -1 'AND' ZS[R] >= ZR
'THEN' 'BEGIN'
        RZ:=-RZ;
        'IF' XS[R-1] = XO 'AND' ZS[R-1] = ZO
        'AND' XO ¬= XA 'AND' ZO ¬= ZA
        'THEN' M:='TRUE'
        'END'
'ELSE' M:=M+RZ;
AZ:=(Z[N,I+1]-Z[N,I])/(X[I+1]-X[I]); BZ:=Z[N,I]-ZM-AZ*X[I];
ZL:=RA*RAD-RZ*BZ-XM*XM; BZ:=XM-AZ*BZ; ZR:=1+AZ*AZ;
ZL:=SQRT(ZL*ZR+RZ*BZ)/ZR; BX:=BZ/ZR-ZL; AX:=BZ/ZR+ZL;
AZ:=Z[N,I]+AZ*(BX-X[I]);AZ:=Z[N,I]+AZ*(AX-X[I]);
'IF' M 'AND' WD(R-1,AX,AZ) > WD(R-1,BX,BZ) 'OR' ¬M
'AND' WD(R-1,AX,AZ)+WD(R,AX,AZ) < WD(R-1,BX,BZ)+WD(R,BX,BZ)
'THEN' 'BEGIN'
        XS[R]:=AX; ZS[R]:=AZ
        'END'
'ELSE' 'BEGIN'
        XS[R]:=BX; ZS[R]:=BZ
        'END';
'IF' ABS(XS[R]-X[I]) < '-9
'THEN' 'BEGIN'
        XS[R]:=X[I]+(1-SIGN(X[I])+X[I])*'-8;
        ZS[R]:=(XS[R]-X[I])*(Z[N,I+1]-Z[N,I])/(X[I+1]-X[I])
                +Z[N,I]
        'END';
'IF' ABS(XS[R]-X[I+1]) < '-9
'THEN' 'BEGIN'
        XS[R]:=X[I+1]-X[I+1]*'-8;
        ZS[R]:=(XS[R]-X[I])*(Z[N,I+1]-Z[N,I])/(X[I+1]-X[I])
                +Z[N,I]
        'END';
'IF' VO+GV[RE]*((ZS[R]-ZO)*COS(GH)-(XS[R]-XO)*SIN(GH))
        'NOTGREATER' 0
'THEN' 'BEGIN'
        BB:='TRUE'; 'GOTO' PROGRAMMABBRUCH
        'END';
```

```
        'IF' XS[R] = XM
        'THEN' SH:=0
        'ELSE' SH:=PI/2+ARCTAN((ZS[R]-ZM)/(XS[R]-XM));
        'IF' ABS(SH-PI/2) < '-9
        'THEN' 'BEGIN'
                SH:=RS*SIGN(XS[R]-ABS(XS[R-1]))*PI/2;
                RX:=0
                'END'
        'ELSE' 'BEGIN'
                'IF' SH > PI/2
                'THEN' SH:=SH-PI;
                RX:=RS*SIGN(ZM-ZS[R])
                'END';
        ZEIT 1:
        AX:=COS(GH)*(XS[R]-XO)+SIN(GH)*(ZS[R]-ZO);
        BX:=COS(GH)*(XM-XO)+SIN(GH)*(ZM-ZO);
        AZ:=RAD*RAD-BX*BX; BX:=AX*BX; AX:=ABS(AX*RAD);
        T[K]:=T[K]+ABS(1/(2*GV[RE]))*LN((AZ+AX+BX)/(AZ-AX+BX))
        'END';

GERADE:

'IF' B1 'OR' V[RE] > 0
'THEN' 'BEGIN'
        'IF' RX = 0
        'THEN' 'BEGIN'
                'IF' R = 1 'AND' ABS(SH+PI/2) < '-9
                'THEN' RZ:=-1
                'ELSE' N:=N+RZ;
                XS[R]:=XS[R-1];
                ZS[R]:=(XS[R]-X[I])*(Z[N,I+1]-Z[N,I])/(X[I+1]-X[I])
                        +Z[N,I]
                'END'
        'ELSE' 'BEGIN'
                I:=I+(RX+1)/2;
                MARK 3:
                ZS[R]:=ZS[R-1]+TAN(SH)*(X[I]-XS[R-1]);
                XS[R]:=X[I];
                'IF' ZS[R] > Z[LI,I] 'AND' ZS[R] < Z[RE,I]
                'THEN' 'BEGIN'
                        'IF' I = 0 'OR' I = E
                        'THEN' 'BEGIN'
                                B2:='TRUE'; 'GOTO' ZEIT 2
                                'END';
                        I:=I+RX;
                        'GOTO' MARK 3
                        'END';
                'IF' RZ = 1 'AND' ZS[R] 'NOTGREATER' Z[N,I]
                'OR' RZ = -1 'AND' ZS[R] 'NOTLESS' Z[N,I]
                'THEN' RZ:=-RZ
                'ELSE' N:=N+RZ;
                'IF' ABS(ZS[R]-Z[N,I]) < '-9
                'THEN' XS[R]:=X[I]-RX*(1-SIGN(X[I])+X[I])*'-8
                'ELSE' 'BEGIN'
                        XS[R]:=(Z[N,I-RX]-Z[N,I])/(X[I-RX]-X[I]);
```

```
                    XS[R]:=
                      (ZE[N,I]+TAN(SH)*XS[R-1]-ZS[R-1]-XS[R]*X[I])/
                      (TAN(SH)-XS[R])
                    'END';
            ZS[R]:=ZS[R-1]+TAN(SH)*(XS[R]-XS[R-1]);
            I:=I-(RX+1)/2
            'END';
        ZEIT 2!
        'IF' V[RE] > 0
        'THEN' T[K]:=T[K]+
                SQRT((XS[R]-XS[R-1])!2+(ZS[R]-ZS[R-1])!2)/V[RE]
        'ELSE' 'BEGIN'
            AZ:=(ZS[R]-Z0)*COS(GH)-(XS[R]-X0)*SIN(GH);
            AX:=V0+GV[RE]*AZ;
            'IF' AX 'NOTGREATER' 0
            'THEN' 'BEGIN'
                    B3:='TRUE'; 'GOTO' PROGRAMMABBRUCH
                    'END';
            T[K]:=T[K]+LN((AX/V0)!SIGN(AZ))/GV[RE]
            'END'
        'END';
'IF' B2
'THEN' 'GOTO' STRAHLABBRUCH;

WINKEL:

N1:=N;
MARK 4:
'IF' I = L
'THEN' 'GOTO' STRAHLABBRUCH;
'IF' I = 0
'THEN' 'GOTO' STRAHLENDE;
'IF' Z[N,I] = Z[N+RZ,I] 'AND' Z[N,I+1] = Z[N+RZ,I+1]
'THEN' 'BEGIN'
        N:=N+RZ;
        'GOTO' MARK 4
        'END';
N2:=N+RZ;
LI:=N1-(RZ-1)/2; RE:=N2-(RZ-1)/2;
V1:=V[LI]; V2:=V[RE];
'IF' V1 < 0
'THEN' 'BEGIN'
        GH:=ARCTAN((ZGR[LI]-ZGL[LI])/X[E]);
        V1:=GV[LI]*(COS(GH)*(ZS[R]-ZGL[LI])-SIN(GH)*XS[R])-V[LI]
        'END';
'IF' V2 < 0
'THEN' 'BEGIN'
        GH:=ARCTAN((ZGR[RE]-ZGL[RE])/X[E]);
        V2:=GV[RE]*(COS(GH)*(ZS[R]-ZGL[RE])-SIN(GH)*XS[R])-V[RE]
        'END';
'IF' V1 'NOTGREATER' 0 'OR' V2 'NOTGREATER' 0
'THEN' 'BEGIN'
        B3:='TRUE'; 'GOTO' PROGRAMMABBRUCH
        'END';
GH:=ARCTAN((Z[N,I+1]-Z[N,I])/(X[I+1]-X[I]));
```

```
    SH:=SH-S;
    'IF' ABS(COS(SH)) 'NOTLESS' V1/V2
    'THEN' 'BEGIN'
            SH.=-SH; N.=N1; RZ.=-RZ
            'END'
    'ELSE' 'BEGIN'
            SH.=SIGN(SH)*ARCCOS(COS(SH)*V2/V1); N.=N2-RZ
            'END';
    SH.=CH+SH;
    'IF' ABS(ABS(SH)-PI/2) < '-9
    'THEN' RX.=0
    'ELSE' 'BEGIN'
            'IF' ABS(SH) > PI/2
            'THEN' 'BEGIN'
                    SH.=-SIGN(SH)*(PI-ABS(SH));
                    RX.=RX*RX-RX-1
                    'END'
            'ELSE' RX.=-RX*RX+RX+1
            'END';
    'GOTO' MARK 1;


    STRAHLABBRUCH:
    T[K]:=-T[K];
    STRAHLENDE:
    RL:=0;
    XSL[K]:=XS[R]; ZSL[K]:=ZS[R];


B1 AUSGABE DER LAUFWEGE:

    'IF' DX <= 0
    'THEN' 'BEGIN'
            OUTPUT(6,'('3/'('STRAHL NR.')'ZZD,
                    '(' [AW=')'-ZZD.3D'(']:')'/')',K,AW[K]);
            'FOR' R:=1 'STEP' 1 'UNTIL' RL 'DO'
            'IF' XS[R] > 0
            'THEN' OUTPUT(6,'('('(' (')'-ZZD.DD'(',')',-ZZD.DD'(')')')'')',
                            XS[R],ZS[R])
            'END';
    'IF' C 'AND' (PM-100*ENTIER(PM/100)) > 9 'AND' RL > PE
    'THEN' 'BEGIN'
            FACTOR(FAX);
            'FOR' R:=0 'STEP' 1 'UNTIL' RL-PE 'DO'
            'BEGIN'
            XS[R]:=ABS(XS[R+PE]);
            ZS[R]:=MAZ-ZS[R+PE]
            'END';
            XS[RL-PE+1]:=0.0; XS[RL-PE+2]:=FAX*FX;
            ZS[RL-PE+1]:=0.0; ZS[RL-PE+2]:=FAX*FZ;
            LINE(XS,ZS,RL-PE+1,1,0,0);
            'END'
    'END';
```

B2 AUSGABE DER LAUFZEITKURVE:

```
'FOR' LI:=0 'STEP' 41 'UNTIL' [illegible] 'DO'
'BEGIN'
'IF'    > LI+40
'THEN' RE:=LI+40
'ELSE' RE:=W;
OUTPUT(6,'('*3/')'); WRITE(TA); OUTPUT(6,'('/,50('('=')'),/')');
OUTPUT(6,'('////'('L A U F Z E I T K U R V E ')'////,
      '('STRAHL     ABSTRAHL')'35B'('DELTA          LAUFZEIT     ')',
      '('REDUZIERTE LAUFZEIT')'/,'('  NR.      -WINKEL')'10B'('Z')',
      11B'('X')'9B'('X - SCHUSS-X')'9B'('T')'9B'('T - DELTA/')',
      0.3D'+ZZ/,11B'('(GRAD)')'/')',VRED);
'FOR' K:=LI 'STEP' 1 'UNTIL' RE 'DO'
'BEGIN'
OUTPUT(6,'('/6ZZD,6B-ZZD.3D,5B-ZZD.DD,5B-ZZD.DD')',
      K,AW[K],ZSL[K],XSL[K]);
'IF' T[K] < 0
'THEN' OUTPUT(6,'('13B'('--- ')'')')
'ELSE' OUTPUT(6,'('10B-ZZD.DD')',XSL[K]-XA);
OUTPUT(6,'('7BZZD.3D')',ABS(T[K]));
'IF' T[K] < 0
'THEN' OUTPUT(6,'('13B'('*** ')'')')
'ELSE' OUTPUT(6,'('10B-ZZD.3D')',T[K]-ABS(XSL[K]-XA)/VRED);
'END';
OUTPUT(6,'('////'('***  STRAHL ERREICHT ERDOBERFLAECHE NICHT')'')')
'END';
PAGE;
'IF' 'NOT' C
'THEN' OUTPUT(6,'('//////////'('K E I N E  Z E I C H N U N G   ')',
            '('(Z- ODER T-MASSTAB FALSCH)')'')');
'IF' C 'AND' (PM-10*ENTIER(PM/10)) > 0
'THEN' 'BEGIN'
        FACTOR(1.0);
        'IF' PM > 10
        'THEN' PLOT(XLEN*FAX+15.0,2.0,-3)
        'ELSE' PLOT(0.0,2.0,-3);
        SYMBOL(X[E]/FX/3,27.0,0.28,TF,0.0,50);
        FACTOR(FAX);
        XLEN:=ENTIER(XA/FX/FAX)*FAX;
        'IF' XA/FX > FAX
        'THEN' 'BEGIN'
                DACHS:=-FAX*FX;
                AXIS((XA/FX-XLEN)/FAX,0.0,T3,-11,(XLEN-0.01)/FAX,0.0,
                    XLEN*FX,DACHS)
                'END';
        PLOT(0.0,0.0,3); PLOT((XA/FX-XLEN)/FAX,0.0,2);
        'IF' (X[E]-XA)/FX > FAX
        'THEN' AXIS(XA/FX/FAX,0.0,T3,-11,(X[E]-XA)/FX/FAX,0.0,
                    0.0,FAX*FX)
        'ELSE' AXIS(XA/FX/FAX,0.0,T4,-1,(X[E]-XA)/FX/FAX,0.0,
                    0.0,FAX*FX);
        FACTOR(1.0);
        'IF' XA/FX > 0.05 'AND' (X[E]-XA)/FX > 0.05
        'THEN' 'BEGIN'
                PLOT(XA/FX,0.0,3); PLOT(XA/FX,(MAT-MIT)/FT,2)
                'END';
```

```
        ZLEN:=(MAT-MIT)/FT/FAT;
        XLEN:=X[E]/FX/FAT;
        FACTOR(FAT);
        AXIS(0.0,0.0,T4,1,ZLEN,90.0,MIT,FAT*FT);
        AXIS(XLEN,0.0,T4,-1,ZLEN,90.0,MIT,FAT*FT);
        'IF' MIT < 0
        'THEN' 'BEGIN'
                PLOT(XLEN,ABS(MIT)/FT/FAT,3);
                PLOT(0.0,ABS(MIT)/FT/FAT,2)
                'END';
        'IF' VRED > 0
        'THEN' 'BEGIN'
                'IF' ZLEN > 1.12
                'THEN' ZLEN:=(ZLEN-1.12)/2.0
                'ELSE' ZLEN:=0.0;
                SYMBOL(-0.25,ZLEN,0.14,T7,90.0,8)
                'END'
        'ELSE' 'BEGIN'
                'IF' ZLEN > 2.94
                'THEN' ZLEN:=(ZLEN-2.94)/2.0
                'ELSE' ZLEN:=0.0;
                SYMBOL(-0.25,ZLEN,0.14,T5,90.0,10);
                NUMBER(999.0,999.0,0.14,VRED,90.0,2);
                SYMBOL(999.0,999.0,0.14,T6,90.0,7)
                'END';
        LI:=-1;
        'FOR' K:=0 'STEP' 1 'UNTIL' W 'DO'
        'IF' T[K] > 0
        'THEN' 'BEGIN'
                T[K]:=T[K]-ABS(XSL[K]-XA)/VRED;
                'IF' T[K] >= MIT 'AND' T[K] <= MAT
                'THEN' 'BEGIN'
                        LI:=LI+1;
                        T[LI]:=T[K]; XSL[LI]:=XSL[K]
                        'END'
                'END';
        XSL[LI+1]:=0.0; XSL[LI+2]:=FAT*FX;
        T[LI+1]:=MIT; T[LI+2]:=FAT*FT;
        LINE(XSL,T,LI+1,1,MX,3)
        'END';
    'IF' C 'AND' PM > 0
    'THEN' 'BEGIN'
        FACTOR(1.0);
        PLOT(X[E]/FX+5.0,0.0,-3)
        'END';
    PROGRAMMABBRUCH:
    'IF' B3
    'THEN' OUTPUT(6,'('//////'('RECHNUNG ABGEBROCHEN')',
            '('(V < 0 IN EINER GRADIENTENSCHICHT)')''')')
    'END'
   'END'
  'END'
 'END'
'END';
```

Bamberger Fotodruck
GmbH & Co. KG.
86 Bamberg · Hohe-Kreuz-Str. 9b · Telefon: 0951/21617

Schadel & Wehle